…РСТВЕННЫЙ ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
НАУЧНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРОФ. ДЖ. ПЕРРИ

ВРАЩАЮЩИЙСЯ ВОЛЧОК



СЕВЕРНЫЙ ПЕЧАТНИК
ВОЛОГДА 1926


СЕВЕРНЫЙ
ПЕЧАТНИК

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТИМИРЯЗЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
изучения и пропаганды естественно-научных основ диалектического материализма

СЕРИЯ IX

„НА ПУТИ К МАТЕРИАЛИЗМУ“
(Пособия для учителя и самообразования)

ВЫПУСК № 17

Проф. Дж. Перри

Вращающийся волчок

Перевод с последнего дополненного английского издания С. ДАВЫДОВА и Н. ЛИХТГЕЙМА
под редакцией З. ЦЕЙТЛИНА

„СЕВЕРНЫЙ ПЕЧАТНИК“

Вологда, 1926

Проф. Дж. ПЕРРИ

ВРАЩАЮЩИЙСЯ ВОЛЧОК

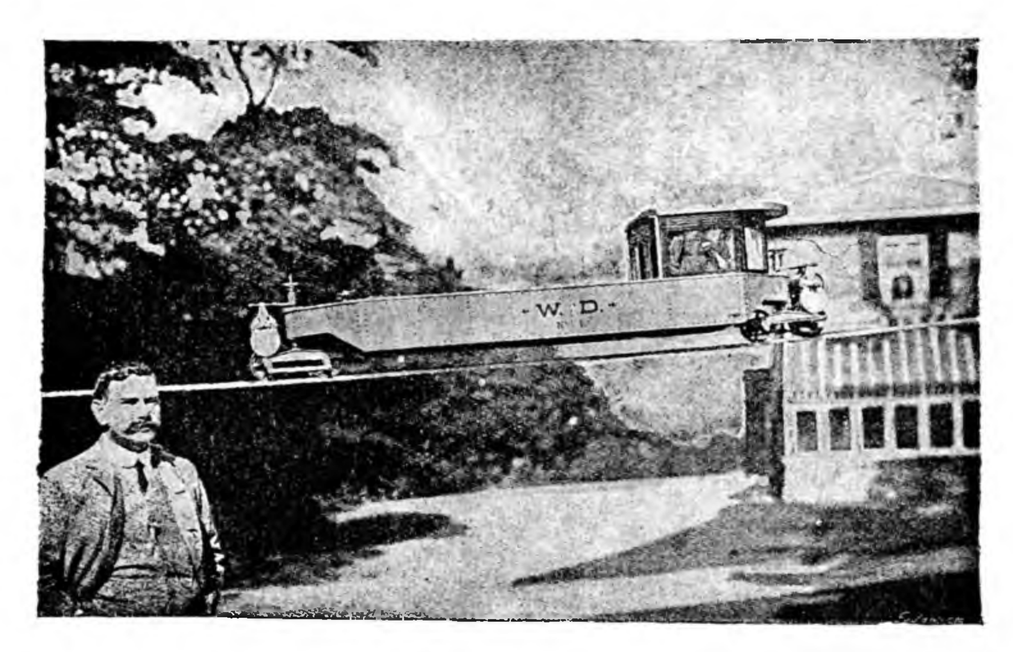
„СЕВЕРНЫЙ ПЕЧАТНИК“
ВОЛОГДА
1926

Типо-литография Акц. О-ва «Северный Печатник».

Гублит № 1190 (Вологда). Тираж 3000 экз.

Граф Пемброк аббатиссе Вильтон:

— Вертись, кляча, вертись! —



Модель однорельсового вагона Бреннана.

Эта запись экспериментальной лекции была посвящена покойному лорду КЕЛЬВИНУ его преданным учеником, лектором, который в настоящем издании нашел подходящий способ почтения истинного автора всего, что достойно обнародования в нижеследующих страницах.

В изучении обыкновенных вещей лежат великие открытия будущего. В этой книге показано, как наблюдение над поведением волчка при вращении его ведет к пониманию более сложных вещей.

СОДЕРЖАНИЕ.

сходных между собою,—108-109; четвертый признак вареного яйца—110.

11. Оправдание остановки на астрономических вопросах и нелестные замечания об астрономах—111-113.

12. Как гиростат позволил бы человеку, живущему в подземных областях, знать: 1) что земля вращается, 2) скорость вращения, 3) направление истинного меридиана, 4) широту —113-123.

Потребность некоторых людей в вере—114; недоверие к вращению земли—114; что происходит со свободным гиростатом—114-116; измерение в лаборатории Фуко земного вращения—116-118; нахождение истинного меридиана—118; тщетное стремление всех вращающихся тел по направлению к Полярной звезде—118-119; нахождение широты—120; аналогия между гиростатом и компасом моряков с магнитной стрелкой—121-122; динамическая связь между магнетизмом и гиростатическими явлениями—123.

13. Как лектор закручивал свои волчки с помощью электромоторов—123-215.

14. Свет, магнетизм и молекулярные волчки—125-140.

Свет требует времени для распространения—125; электромагнитная теория света—126-127; сигнализация через туман и здания посредством нового вида радиации—128; Фарадэево вращение плоскости поляризации посредством магнетизма с иллюстрациями и моделями—129-134; цепь гиростатов—135; гиростат в виде чечевицы маятника—136-137; механическая иллюстрация Томсона для опыта Фарадэя—138-140.

15. Заключение—140-143.

Необходимость поощрять наблюдение—140; будущие открытия—141-142; вопросы, какие будут предлагаться через 100 лет,—142; знание—вешь наиболее желательная—143.

Приложения:

I. Употребление гиростата.

II. Гиро-компас для судов.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА.

Механика и диалектический материализм.

Механика есть наука о перемещении материи в пространстве и времени. Механика изучает простейшую форму движения — перемещение, перемену места. Так как высшие формы движения необходимым образом связаны с этой простейшей формой, то первой задачей науки, как говорит Энгельс, является изучение механического движения материи. Чтобы точно уяснить себе значение механики для философии диалектического материализма, необходимо хорошо помнить, что диалектический материализм есть прежде всего материализм, т.-е. философия, связанная необходимым образом с понятием материи. При всей конкретно-физической сложности последнего понятия, с философской точки зрения оно чрезвычайно просто и ясно, что бесспорно является громадным преимуществом материализма над идеализмом, берущим за основу неопределенное и мистическое понятие „мирового духа", обитающего где-то в заумном царстве вне пространства и времени, вне конкретной высокоорганизованной материи. Что же такое материя? Определить понятие—значит указать на его существенные и необходимые при-

знаки. Первым и главным признаком материи является протяженность. Всякая материя реально протяженна, реально занимает часть реального пространства, которое является основной формой бытия материи. И так как с точки зрения философии материализма не существует „пустых форм", т.-е. форм без содержания, то отсюда следует, что всякая протяженность, всякое пространство необходимым образом связано с материей. На протяженность, как основной и необходимый признак материи, указали еще древне-греческие философы материализма. В средние века понятие материи запуталось, а в новое время философ Декарт возродил древне-греческое материалистическое понимание материи и ее связь с пространством. Совершенно очевидно, что протяженность, являясь основным признаком материи, является вместе с тем главным пунктом аттаки идеалистической философии во всех ее многообразных оттенках. Лишите материю протяженности, и она исчезнет как таковая, потеряет свое философское значение. В. И. Ленин пишет поэтому („Эмпириокритицизм и материализм", гл. III, § 5): „Признавая существование объективной реальности, т.-е. движущейся материи, независимо от нашего сознания, материализм неизбежно должен признавать также объективную реальность времени и пространства, в отличие прежде всего от кантианства, которое в этом вопросе стоит на стороне идеализма, считает время и пространство не объективной реальностью,

а формами человеческого созерцания. Коренное расхождение в этом вопросе двух основных философских линий вполне отчетливо сознается писателями самых различных направлений, сколько-нибудь последовательными мыслителями".

„Энгельс показал Дюрингу,—пишет В. И. Ленин,—что отрицание объективной реальности времени и пространства теоретически есть философская путаница, практически есть капитуляция или беспомощность перед фидеизмом".

Энгельс пишет также в „Диалектике природы" (стр. 151): „Разумеется, обе формы существования материи без этой материи представляют ничто, только пустое представление, абстракцию, существующую только в нашей голове".

Всякий, поэтому, кто не желает быть путаником в философии или практически капитулировать перед идеализмом и фидеизмом, должен твердо помнить об основном признаке материи. Механика же—это по существу наука о перемещении и взаимодействии реально протяженных частей материи. Вот почему механика, как наука, является одним из сильнейших оплотов материализма; вот почему материализм в своем историческом развитии принял прежде всего форму механического материализма, т.-е. материализма, который центр тяжести усматривает в понятии движения как перемещения в пространстве и времени про-

тяженной материи. Но развитие материализма не остановилось на механической стадии. Благодаря трудам Маркса и Энгельса механический материализм превратился в диалектический. Диалектический материализм преодолел механический характер старого материализма, т.-е. не отбросил его, как некоторые полагают, а, восприняв, переварил, расширил и развил дальше. Как старый материализм, так и новый имеют то незыблемо общее, что они принимают за основу реально протяженную материю. Но диалектический материализм, как показывает само его название, особое внимание обратил на „диалектику", т.-е. понятие движения.

В механическом материализме понятие это трактуется слишком узко и просто, так что оно совершенно не в состоянии обнять конкретную действительность.

В самом деле, уже обыденный опыт всякого человека показывает, что понятие перемещения не исчерпывает понятия движения. Существуют, например, такие движения, которые хотя и неразрывно связаны с перемещением частей материи, но не являются движениями в буквальном смысле слова. Таковы „психические движения" или изменения состояний нашего сознания. Что наша душевная и умственная жизнь является непрерывным движением, изменением—это всякий знает; что эти движения или изменения неразрывно связаны с физико-химическими процессами, которые по существу являются в конце-концов пере-

мещениями, если их рассматривать чисто внешне,— это твердо установлено наукой; наука также установила тот не подлежащий сомнению факт, что высокоорганизованная материя, в которой нам достоверно известно наличие психического движения, родилась из неорганизованной. Возникает, стало-быть, чрезвычайно-важный вопрос: какова связь между движением, как перемещением, и движением, как изменением вообще материи, в том числе и психическим? Философский ответ на этот вопрос был дан знаменитым Барухом Спинозой. Спиноза указал, именно, что перемещение материи по существу не столь просто, как это полагают; что чистая протяженность и перемещение—только одна, именно внешняя сторона или аттрибут материи; что другой стороной, столь же неразрывно связанной с первой, как одна сторона монеты с другой, является „психическое" или, по терминологии Спинозы, „мышление". Бесспорно, „психическое" в буквальном смысле слова, как мы его понимаем, присуще только высокоорганизованной материи, но тот факт, что такая материя возникла в процессе развития из „мертвой, неорганизованной", заставляет предполагать, что „в фундаменте самого здания материи можно лишь предполагать существование способности сходной с ощущением" (В. И. Ленин. „Э. и М.", гл. I). Отсюда ясно значение механики для биологии. Строгий и точный ответ на вопрос о сущности и происхождении жизни станет возможным тогда, когда мы будем точно

знать те перемещения или механические—движения, которые образуют высокоорганизованную материю, когда, стало-быть, мы сумеем практически приготовить живой белок. Тогда именно возможно будет определить, во-первых, каким внешним движениям соответствуют „внутренние“ изменения, и, во-вторых, восстановить картину исторического перехода „мертвой“ материи в живую. Разумеется, разложение жизни на ее внешние элементы не означает отожествления ее с этими элементами, подобно тому, как разложение Шекспировской драмы на буквы, слова, строки и т. д. не означает отожествления содержания драмы с этими чисто внешними элементами. Но если бы драма Шекспира не была бы выражена в слове, то мы вообще не в состоянии были бы ничего знать о ней.

Таким образом, объективная биология и психология, пользующиеся внешним физико-химическим или, точнее, механическим методом исследования, крайне важны для уразумления сущности жизни психики, но они совсем не достаточны для исчерпывающего понимания объекта и должны быть дополнены методом интроспективной аналогии, который в связи с историческим методом может помочь перекинуть мост в самые далекие от человеческого существа области.

Если в области биологии и психологии понятие движения столь усложняется, то в области общественной жизни оно столь сложно, что механический метод становится почти бесполезным.

Изучать проявления общественной жизни, общественные движения при помощи механики—все равно, что торговцу взвешивать фунт яблок при помощи аналитического вычисления на основании Ньютоновой теории тяготения. Тем не менее принципиально, с внешней стороны, всякого рода движение, в том числе и общественное, неразрывно связано с перемещением материи, т.-е. механикой.

Таково преодоление механики диалектическим материализмом. Механика включается в философию диалектического материализма, как одна из важнейших составных частей, выражающих внешность (exteriori) материи. И так как диалектика, как общее учение о движении, формулирует три основных закона всякого движения: а) закон взаимного проникновения противоположностей, б) закон отрицания отрицания и в) закон перехода количества в качество и обратно, то механика, как учение о внешнем движении материи, также заключает в себе три закона. В предлагаемой вниманию читателя превосходной книжке Перри имеется ряд поразительных примеров, наглядно доказывающих диалектику механики. Особенно подробно выявляется закон перехода количества в качество и закон взаимного проникновения противоположностей.

Закон же отрицания отрицания, являясь, главным образом, ритмом эволюции форм движения, может быть в полной мере обнаружен лишь при рассмотрении больших промежутков времени, как,

например, в истории развития солнечной системы. Разумеется, в абстрактной механике мы таких промежутков времени не находим и, следовательно, очень затруднительно и даже невозможно четко обнаружить наличие закона отрицания отрицания. Только более глубокий анализ, на котором мы останавливаться не будем, показывает, что закон этот лежит в природе самого движения и его передачи и, стало-быть, в известной мере во всех даже элементарных явлениях движения. Это ясно, впрочем, из того, что указанные диалектические законы представляют собою не три различные вещи, а единую сущность движения.

З. Цейтлин.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Это сочинение не представляет лекции в том виде, как она была прочитана. Вместо сказанного на паре страниц печати и гравюр, как читатель может себе представить, лектор показывал в течение полуминуты вращающийся волчок или гиростат и при случае делал аудитории предупреждения, напоминания и объяснения. Буквальный отчет скорее сделал бы чтение неинтересным, и я решил попытаться большей полнотой объяснений вознаградить читателя, не видевшего приборов в движении. Наконец, в сочинении, предназначенном для широкой публики, было также необходимо упростить доказательства, тогда как лекция читалась людям, которых жизненный опыт специально подготовил для понимания научных вопросов. В конце приложен обзор содержания, чтобы сделать яснее отдельные этапы рассуждения.

Джон Перри.

Вращающийся волчок.

На прошлой неделе в одной из школ города Лидса учитель обратился к своему классу со следующими словами: „В Лидсе скоро состоится съезд Британской Ассоциации. Что это такое? Кто такие члены Британской Ассоциации? Что они делают“? Наступила продолжительная пауза. Наконец, она была прервана одним умным, но робким мальчиком: „Позвольте, господин учитель! я знаю—они вертят волчки“! К сожалению, я должен сказать, что ответ был неверный. Члены Британской Ассоциации и научные работники Лидса относились с пренебрежением к верчению волчка уже с десятого года своей жизни. Но если бы глубокому исследованию поведения волчка было уделено больше внимания, то наши достижения в области технической механики и многих отраслей промышленности были бы более значительны. Основы астрономии были бы глубже проработаны. Геологи не делали бы ошибок в миллионы лет, и наши знания о свете, о лучистой теплоте и о других электромагнитных явлениях расширились бы гораздо скорее, чем это происходит теперь.

Я постараюсь вам показать в конце моего доклада, как само собою обнаружился бы тот факт,

что наша земля есть вращающееся тело, если бы даже мы жили в подземном царстве, подобно грядущему поколению одного остроумного писателя [1]). Этот факт есть самая главная и самая деятельная причина многих явлений, происходящих вокруг нас и под нами, и возможно даже, что земной магнетизм в значительной степени обязан своим происхождением этому же факту. В самом деле, возможно лишь одно объяснение того, что Вриль-я (название народа, изображенного Бульвер-Литтоном в романе „Грядущая раса") не знали о вращении земли. Их познания в области динамики и механики были огромны: ни один член Британской Ассоциации не может сравниться с ними в знании, я не хочу говорить о Vril, но хотя бы совершенно обыкновенного электричества и магнетизма; и однако эта великая раса, которая так энергично выражает свое презрение к англо-саксонскому Кум-Пошери [2]), не знала того факта, что бесчисленные ее поколения жили внутри тела, которое вращается вокруг своей оси.

Можем ли мы вообразить хотя бы на одно мгновение, что дети этой расы никогда не вертели волчка или никогда не катали обруча и, таким образом, не имели ни одного удобного случая, который привел бы их к более глубокому познанию природы? Нет, единственно возможное объяснение заключается в том, что сам великий писа-

---

1) Бульвер Литтон, „Грядущая раса".
2) Житейская суета (на языке народа Вриль-я).

тель никогда этого не делал. Вероятно, еще мальчиком он пренебрежительно относился к изучению природы, сам был маленьким Пеламом (герой романа Бульвера), поэтому в зрелом возрасте он был осужден остаться в неведении даже тех сил, которые были во власти новой расы, им созданной.

Незнакомство народа Вриль-я с поведением вращающегося тела, наряду с его глубокими познаниями в области магнетизма, станет еще более удивительным, когда мы узнаем, что явления магнетизма и света, несомненно, тесно связаны со свойствами вращающихся тел, и что, без сомнения, близкое знакомство со свойствами вращающихся тел безусловно необходимо для правильного понимания большинства явлений, происходящих в природе. Инстинктивное стремление исследовать эти явления проявляется, повидимому, уже с того момента, как мы получили дар слова, и кто знает, насколько низкий уровень умственного развития женщины зависит от ее пренебрежительного отношения к упражнениям в верчении волчка; но, к сожалению, юношеский ум и мускулы мальчиков в их стремлении к усовершенствованию в деле запускания волчков предоставлены исключительно тому руководству, которое дает опыт молодых и недостаточно ученых товарищей. Я хорошо помню, что ежедневно наталкивался на множество задач, вызывавших у меня недоумение. То попадались волчки, которых никто, казалось, не мог заставить вертеться; то попадались другие, высоко це-

нившиеся, подвергавшиеся часто изучению, являвшиеся предметом домогательства за свои выдающиеся качества, так как они, даже при неумелом обращении, кружились очень хорошо. И все-таки никто, даже мастера, делавшие волчки, не знали, почему одни волчки кружились хорошо, а другие — плохо.

Я не скрываю от себя всей трудности задачи — говорить о верчении волчков людям, давно утратившим ту ловкость, которой они удивляются в своих детях, ловкость, выражающуюся в искусстве запускания и верчения волчка, дававшем им когда-то такую мощь над предметом, который я не осмеливаюсь отнести к мертвой природе. Задача, от решения которой безнадежно отказываются в детстве, редко привлекает к себе внимание в годы зрелости; взрослый человек загоняет свое стремление к знанию в темные чуланы своего сознания, и там оно лежит в пренебрежении под накопившейся пылью жизни, в виде постепенно позабытого инстинкта. Некоторые из вас, быть может, подумают, что этот инстинкт остается только у тех умов, которые не выходят из детства до конца жизни, и, может быть, никто из вас не имел случая видеть, как иногда с обыкновенного человека слетает старая пыль жизни, и к нему возвращается старое желание понять тайны, его окружающие.

Но я чувствовал это желание не только сам, я его видел в возбужденных взорах толпы людей,

которая часами простаивала под цветущим вишневым деревом у храма Азакузы, с его красными колоннами, и следила за тедзу-маши (японский жонглер), который управлял вращением своего „кома“ с тяжелым ободом. Сначала он бросает наискось от себя в воздух свой большой волчок и подхватывает его во время вращения концом палки, острием меча или другого подходящего орудия; вот он бросает его довольно небрежно, схватывая его, когда он возвращается к нему обратно по какому-нибудь направлению; он заставляет его бежать по краю перил лестницы через двери в дом и выходить через окно; он заставляет его странствовать по большому пробочнику. Затем он схватывает его руками и несколькими ловкими закручиваниями сообщает ему новый запас вращательной энергии. Он заставляет его бегать вдоль по вытянутому шнуру или по лезвею меча, он проделывает со своим волчком всевозможные удивительные вещи—и вдруг выходит из роли повелителя и к концу своего представления вымаливает несколько медных монет.

Как ничтожно должно показаться это вам теперь, когда вы более, чем наполовину, забыли свое стремление проникнуть в тайны природы; но поверьте мне: если бы я мог сделать так, чтобы старый вращатель волчка показал свои волшебные фокусы на этом месте, к вам вернулась бы способность восхищаться и наслаждаться этим прекрасным движением. Может быть, преставле-

ние такого рода возможно только в Японии, в стране, где с нежностью взирают и на колеблющийся бамбук, и на кружащегося ястреба, и на волнующееся летнее море, и на всякое прекрасное движение в природе; и, может быть, наблюдая японцев, мы познакомимся с развитием нашего детского энтузиазма. Жрецы искусства изящного движения и меняющейся игры цветов, искусства, возвышавшего душу человека с древнейших времен, в большинстве случаев нищие, подобно Гомеру, и живут они на чердаках, подобно Джонсону и Савэджу [1]); но уже провозглашается заря новой эры, или, вернее, эта заря уже наступила после работ сэра Виллиама Томсона в деле изучения вращающихся тел, работ, которые принадлежат к числу немаловажных среди его великих трудов.

Если только вы пожелаете хорошо продумать этот вопрос, то согласитесь, что поведение самого обыкновенного волчка в высокой степени удивительно. Если он не вертится, то, как вы видите, он сразу падает, и я не в состоянии удержать его в равновесии на его кончике. Но это совершенно другой предмет, когда он кружится: вы видите, что он не только не падает, но оказывает поразительное сопротивление, когда я его толкаю, и даже принимает все более и более вертикальное положение. Стоит только раз пробудить в себе любовь

---

[1]) Джонсон — английский писатель 18-го столетия. Савэдж—английский поэт, современник и друг Джонсона.

к научному наблюдению, как природа преподносит нам явления такого рода в большом количестве.

Те из вас, кто наблюдал быстро вращающийся тяжелый пояс или канат, знают, что быстрое дви-

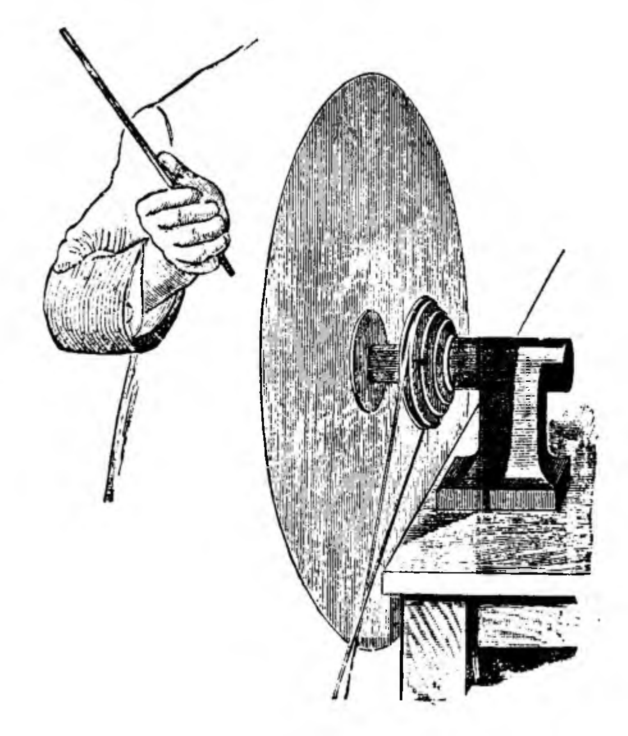


Рис. 1.

жение сообщает странную как бы одеревенелость гибким и даже жидким предметам. Вот, например, круг из совсем тонкой бумаги (рис. 1); если я при-

веду его в быстрое вращение, то вы замечаете, что он сопротивляется силе моей руки или удару кулака, как если бы это был круг из стали. Прислушайтесь, как он звучит, когда я ударяю его палкой. Куда пропала его гибкость?

Вот еще кольцеобразная цепь, довольно гибкая. Заставить ее стоять, как твердый обруч, покажется смешной фантазией, а, между тем, вы за-

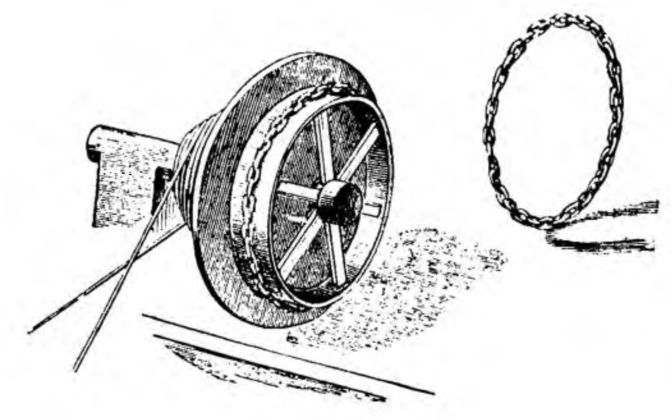


Рис. 2.

мечаете, что если я сообщу ей быстрое вращательное движение на этом барабане и дам ей соскользнуть на стол, то она бежит через весь стол совершенно так, как если бы это было твердое кольцо, и, когда она падает на пол, она подскакивает вверх, как игрушечный обруч мальчика (рис. 2).

Вот еще очень мягкая шляпа, специально сделанная для этого опыта. Вы замечаете, что она

сама мнется в бесформенную массу, когда я кладу ее на стол, и, кажется, совершенно неспособна оказать сопротивление силам, стремящимся изменить ее форму. Действительно, здесь полное отсут-

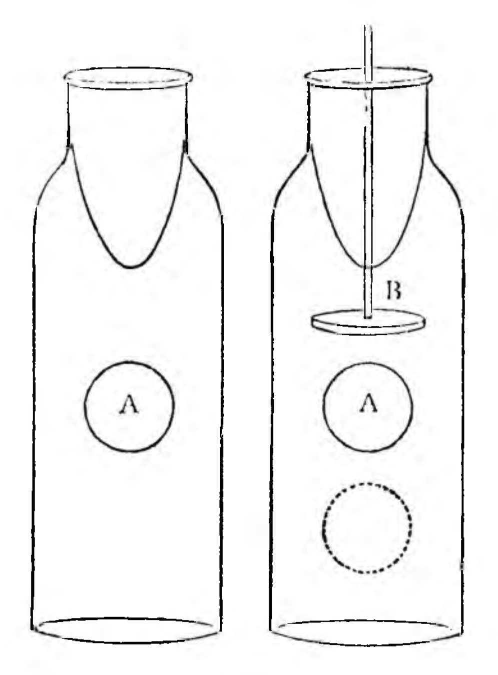


Рис. 3.

ствие твердости; но если закрутить эту шляпу на конце палки, то вы увидите, что она, во-первых, принимает вполне отчетливую форму; во-вторых, бежит вдоль стола, как если бы она была изготовлена из стали; в-третьих, вы замечаете, что, как

только прекратилось быстрое движение, она падает в виде бесформенной массы мягкой материи.

Точно так же вы можете заметить, что подвыпивший человек, если он не прислонится к стене или фонарному столбу, чувствует, что единственное его спасение от позорного падения заключается в достижении известной скорости движения, и, таким образом, быстротой своего движения он добивается некоторой видимости трезвости.

Вода внутри этого стеклянного сосуда (рис. 3) находится в состоянии быстрого движения, вращаясь вместе с сосудом. Теперь обратите внимание на этот погруженный в воду кусок парафина A, и вы увидите, что он дрожит, если я толкну его прутом, совершенно так, как если бы он был окружен густым студнем. Теперь применим к этому опыту Вилльяма Томсона улучшение, предложенное профессором Фицджеральдом. Здесь на конце этого прута прикреплен кружок B; когда я ввожу его, вы замечаете, что A отталкивается от кружка, хотя и не касается его. Затем вы наблюдаете, что, когда я вращаю диск, он как бы притягивает к себе кусок A.

Ударом об упругую поверхность задней стенки этого ящика (рис. 4) можно привести в быстрое вращательное движение небольшое количество воздуха возле круглого отверстия с передней стороны; чтобы сделать это явление видимым для глаза, воздух смешивают с дымом. Из отверстия выходит кольцо дыма, которое движется на зна-

чительное расстояние, не изменяясь, почти как твердое тело, и я не знаю наверное, нельзя ли было бы послать, в качестве снаряда, огромное кольцо отравленного дыма так далеко, чтобы оно истребило или оглушило армию, отстоящую на несколько миль. Помните, что частицы воздуха, составляющие кольцо, остаются все время одни и те же. Вы можете даже заметить, что два кольца дыма, выходящие из двух ящиков, оказывают любопытное действие друг на друга; изучение этих взаимодействий дало толчок Томсоновской теории дымовых колец или теории вихревого строения материи.



Рис. 4.

Идею молекулярных вихрей высказал впервые, при разъяснении явлений упругости и тепловых,

Ранкин, великий вождь всех инженеров. Идея эта состоит в том, что всякая материальная частица есть как бы маленький волчок. Однако, теперь я хочу говорить только о теории Томсона. Допущение, что атом материи есть не что иное, как удивительное, замечательно стройно сформированное кольцо дыма, которое находится в совершенной жидкости и не может подвергнуться устойчивому изменению, кажется весьма странной и искусственной гипотезой. Но, несмотря на некоторые трудности, эта гипотеза является основанием теории, которая лучше всего может объяснить большую часть наблюдавшихся исследователями молекулярных явлений. Впрочем, какова бы ни была ценность этой теории, вы видите уже из опыта, что движение сообщает малым количествам жидкости удивительные свойства упругости, притяжения и отталкивания; что каждая из этих целых частей вещества сопротивляется разбиению на две части, что нельзя даже приблизить к дымовому кольцу нож; и что столкновение двух колец такого рода почти ни в каком отношении не отличается от столкновения двух резиновых колец[1]).

---

[1]) Прекрасное и популярное изложение основ теории вихрей можно найти в юбилейной Гельмгольцовской лекции Н. Е. Жуковского: „Работы Гельмгольца по механике" (см. сборник лекций, посвященных Гельмгольцу, 1892 г.). Дж. Дж. Томсон в работе „Структура света" („Под Знаменем Марксизма" № 12, за 1925) изображает кванту света в виде вихревого электромагнитного кольца. (Прим. ред.).

Другой пример отвердевания, приобретаемого жидкостью от быстрого вращения, представляет то ощущение полной беспомощности, которое испытывают даже самые сильные пловцы, когда их охватывает под водой водоворот.

Я мог бы, если бы захотел, привести еще много примеров мнимой твердости, которую одно только движение сообщает гибким или жидким телам. В Неваде применяют при горных работах струю воды, подобную струе пожарной трубы, только гораздо большей силы, которая притом легко может быть пущена в любом направлении; и громадные массы земли и камня быстро раздробляются текущей водой, которая по своей твердости скорее напоминает стальной стержень, чем струю воды.

Быть может, вы проявите больше интереса к этой латунной коробке, которую я держу в руках. Вы не замечаете никакого движения, но в действительности внутри этой коробки находится маховое колесо, приведенное в быстрое вращение. Посмотрите теперь, как я ставлю этот барабан на стол его узкой ножкой, похожей на конек, и, между тем, он не падает, как это случилось бы с обыкновенной коробкой, и что произойдет через некоторое время и с этим барабаном, когда внутри его установится покой. Вы видите, что я могу подвергнуть этот барабан сильным ударам без того, чтобы он заметно вышел из вертикального положения; он только немного поворачивается, но не

опрокидывается, как бы сильно я ни ударил. Заметьте, что, если я приведу его в несколько наклонное положение, он не упадет, но будет медленно поворачиваться, приобретая так называемое прецессионное движение (рис. 5).

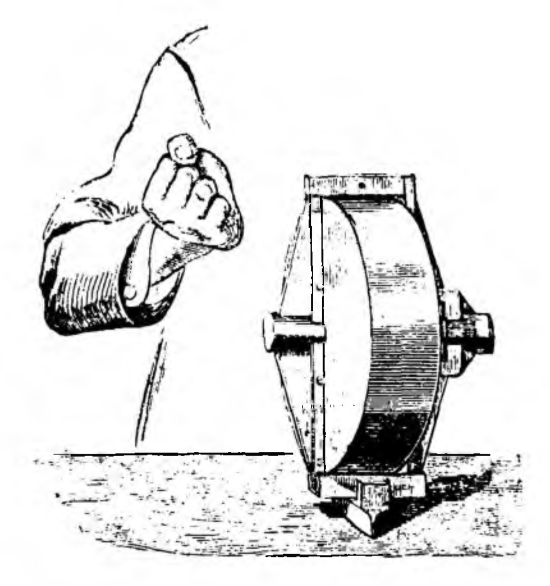


Рис. 5.

Разрешите мне в течение этой лекции обозначать термином прецессионного всякое движение такого рода. Возможно, что вы имеете очень веское возражение против того, что я, быть может, несколько своевольно говорю, что барабан „прецессирует“, когда он находится в движении такого

рода; но у меня, в самом деле, нет выбора, так как я должен пользоваться каким-нибудь глаголом, а придумать менее *варварское слово у меня* нет времени.

Если я, держа этот барабан у себя в руках, стану передвигать его поступательно в любом на-



Рис. 6.

правлении, то я ощущаю как-раз то же самое, как если бы внутренний *механизм его находился* в покое, но если я пытаюсь повернуть его в руках, я испытываю удивительное и сильное сопротивление такому движению (рис. 6). Эта готовность барабана повиноваться, если держать его в руках, всем движениям, при которых он не наклоняется,

и, наоборот, его сильное сопротивление движениям, стремящимся его повернуть, и, наконец, неожиданное стремление наклоняться не в ту сторону, в которую его наклоняют,—все это вызывает одно из самых странных ощущений. Пожалуй, может показаться, что в барабане сидит какое-то невидимое и очень капризное существо. И, действительно, внутри него находится одухотворенное существо, которое алгебраисты называют „мнимой" величиной, а другие математики—„оператором" [1]).

Установка почти всех опытов, точно так же, как изготовление волчков и других приборов, которые вы видели или увидите сегодня вечером,—дело рук моего преданного ассистента г. Шенгерда. Но в следующем опыте ему не только принадлежит установка, но и самая идея опыта. Он сказал мне: „Вы себе можете, сколько угодно, вертеть и наклонять ваше тело с большим гиростатом в руках, но некоторые из ваших слушателей просто скажут, что вы только притворяетесь, будто встречаете затруднение при попытках наклонить гиростат". И вот он устроил этот стол на колесах, на котором я могу стоять; теперь вы видите, что, когда я пытаюсь повернуть гиростат, он не поворачивается, как бы я ни старался; он

[1]) В векторном анализе вращательное движение изображается при помощи символов мнимых величин. Оператор (Гамильтона)—это некая мнимая функция, которая в определенном соединении с вектором изображает вихрь (curl). (Прим. ред.).

сохраняет свое положение, оставаясь постоянно направленным вон к тому концу зала, и все мои усилия приводят только к тому, что поворачиваются мое тело и стол, но не гиростат.

Теперь вам ясно, что в каждом отдельном случае барабан только тогда оказывает сопротивление, когда мы стараемся наклонить ось вращения скрытого внутри него махового колеса; если вы заинтересуетесь этим и сделаете некоторые наблюдения, то вы скоро заметите, что всякое вращающееся тело, как и помещенное внутри барабана колесо, более или менее сопротивляются изменению направления его оси вращения. Если маховые колеса паровой машины, динамомашины или других быстродвижущихся машин вращаются на судне, то вы можете быть вполне уверены, что они оказывают гораздо большее сопротивление продольной и боковой качке, поворотам и вообще всякому другому движению судна, которое стремится изменить направление оси вращения, чем тогда, когда они в покое.

Вот волчок, который лежит на плоской дощечке (рис. 7), и который я подбрасываю в воздух; вы видите, что трудно следить за его движением, и никто не мог предсказать, пока он не упадет, в каком положении он вернется обратно на дощечку: он может упасть острым концом вперед, назад или в сторону. Но если я заверчу его и теперь подброшу в воздух, то нет никакого места сомнению относительно того, как он упадет. Ось вращения

остается параллельной самой себе, и я могу время от времени подбрасывать вверх волчок, не изменяя его вращательного движения.

Если я подброшу вверх этот бисквит, то, как вы видите, я не могу достоверно знать, как он упадет но если я приведу его во вращение перед

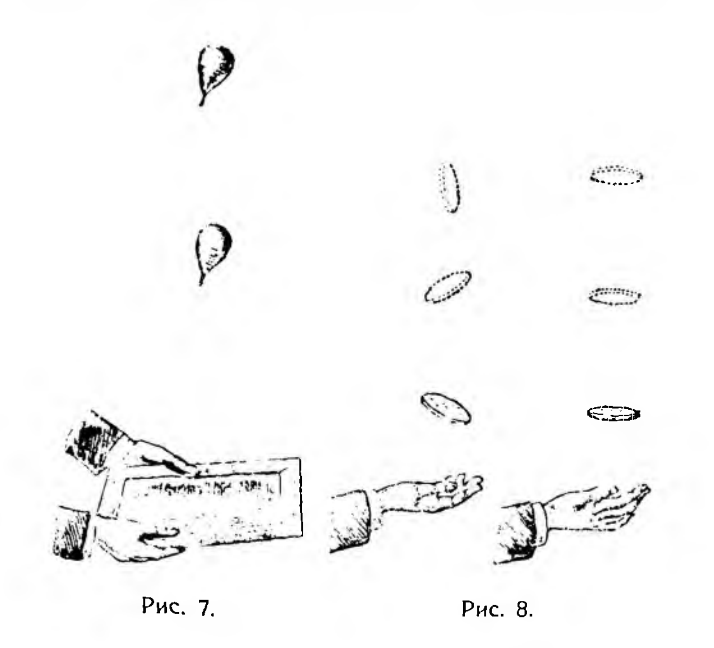


Рис. 7. Рис. 8.

тем, как выпустить его из рук, то на этот счет не останется никакого сомнения (рис. 8). Вот шляпа; я подбрасываю ее вверх и не знаю, в каком положении она упадет, но если я сообщу ей вращение, то вы видите, что ось, вокруг которой про-

исходит вращение, остается параллельной самой себе, так, как и у волчка, и у бисквита, и мы можем быть вполне уверены в том, что шляпа упадет на землю полями вниз (рис. 9).

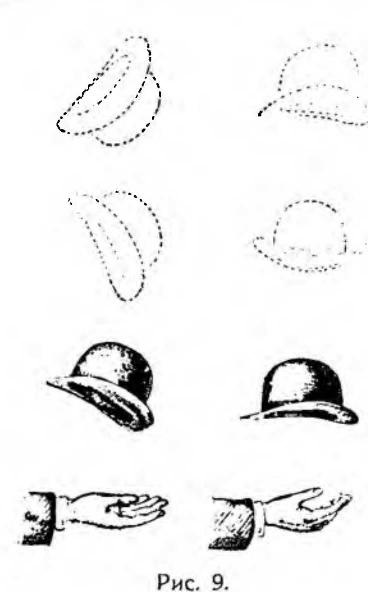


Рис. 9.

Я не считаю нужным еще раз приводить в виде примера очень мягкую шляпу, которой мы несколько минут тому назад сообщили кажущуюся твердость, но вспомните, что мой ассистент бросал ее в воздух наподобие бомбы после того, как она была приведена во вращение, и что ее ось вращения оставалась параллельной самой себе точно так же, как и ось этой твердой шляпы и бисквита.

Однажды я показывал некоторые из опытов с вращающимися волчками перед публикой, пившей кофе и курившей табак, в великолепном помещении концертной залы „Виктории“ в Лондоне. Эта концертная зала не многим отличалась от других подобных зал, за исключением того, что здесь не подавались пиво, вино и спиртные

напитки, а устраивались иногда небольшие научные доклады. Я старался заинтересовать моих слушателей, насколько мог, вышеописанными явлениями, рассказывал о том, что диску надо сообщить вращение, если его желают бросить так, чтобы можно было уверенно предсказать, что он упадет; что если желают бросить обруч или шляпу кому-нибудь так, чтобы тот мог поймать эти предметы палкой, то надо обруч или шляпу привести во вращение; что всегда можно рассчитывать на сопротивление вращающегося тела, когда изменяют направление его оси. Я рассказал им, что, гладко отполировав дуло пушки, нельзя рассчитывать на верность прицела[1]); что вращение, которое получает обыкновенное ядро, зависит, главным образом, от того, как оно коснется отверстия пушки в тот момент, когда оно покинет дуло; что поэтому теперь делают нарезные дула, т.-е. теперь вырезывают на внутренней стороне дула спиралеобразные жолобы, в которые входят выступы ядра или снаряда, так что последний приходит во вращение вокруг своей оси, когда сила взрыва пороха заставляет его двигаться по дулу пушки. Поэтому

---

[1]) В 1746 г. Веньямин Робинс установил принцип нарезки ружейных стволов в том виде, в каком мы это теперь знаем. Он показал, что вращение круглого снаряда следует рассматривать, как наиболее важное обстоятельство; он показал также, что изгиб дула не ведет к отклонению снаряда в той мере, в какой может произвести отклонение от прицела вращение снаряда в противоположном направлении.

снаряд покидает пушку с вполне определенным вращательным движением, относительно которого не может быть никакого сомнения; рис. 10 указывает на движение, которое имеет снаряд; совершенно так же, как у шляпы или бисквита, его ось вращения остается параллельной самой себе. Это было все, что я мог сделать, так как я не владею искусством бросания шляп или дисков. Но после того, как я закончил мой доклад, и затем молодая дама в платье, усыпанном блестками пропела комическую песенку, на подмостки поднялись два жонглера, господин и дама, и я не мог пожелать лучшей иллюстрации упомянутых законов, чем та, которую давал каждый отдельный фокус, показанный этими артистами. Они бросали

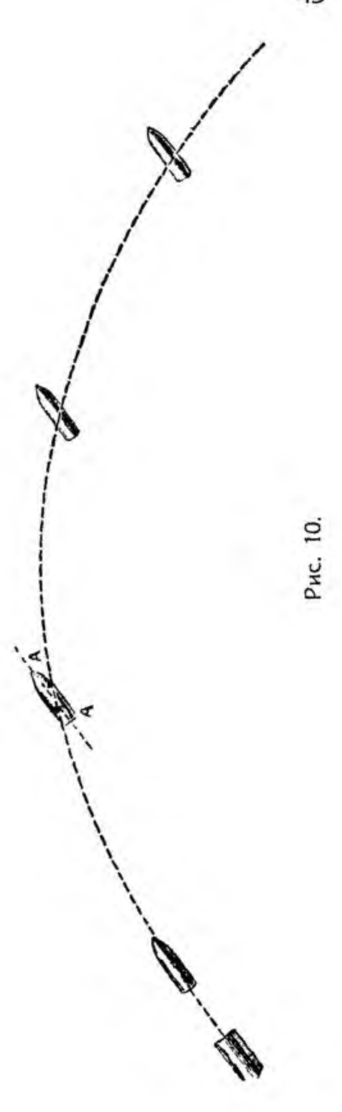


Рис. 10.

друг другу вращающиеся шляпы, обручи, тарелки зонтики. Один из них бросал в воздух целый поток ножей, ловил их опять и снова бросал их с большой точностью; моя аудитория, только-что получившая объяснение этих явлений, ликовала от удовольствия и обнаруживала самым явным образом, что она замечала вращение, которое жонглер сообщал каждому отдельному ножу, выпуская его из рук, так что он мог прекрасно знать, в каком положении нож снова вернется к нему (рис. 11). Я был тогда поражен тем обстоятельством, что почти все без исключения жонглерские фокусы, демонстрировавшиеся в тот вечер, представляли иллюстрацию изложенного выше принципа. И если



Рис. 11.

вы все еще сомневаетесь в моих словах, то спросите ребенка, когда его обруч легче опрокидывается: тогда ли, когда он быстро катится, или когда он медленно движется; спросите у велосипедиста, легко ли ему сохранять равновесие при медленной езде; спросите у балетной танцовщицы, как долго она могла бы стоять на носке, не поддерживая равновесия при помощи рук или палки, если бы она не кружилась; спросите астронома, сколько месяцев земная ось сохраняла бы то же самое направление относительно Полярной Звезды, если бы земля не вращалась; и прежде всего спросите какого нибудь мальчика, когда его волчок легче стоит на своем остром конце: когда он вращается, или когда он не вращается?

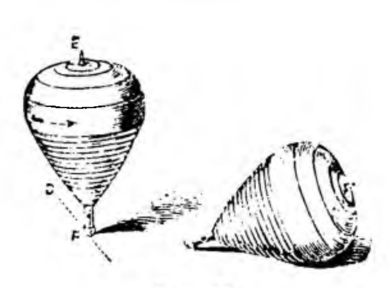


Рис. 12.

Рассмотрим теперь внимательнее поведение этого обыкновенного волчка (рис. 12). Он не вращается, и вы видите, что он сразу опрокидывается; он оказывается совершенно неустойчивым, когда я его ставлю вертикально на его острие. Но теперь обратите внимание, что, когда он вращается, он не только стоит вертикально на своем острие, но даже, если я ударом изменю его состояние, он начинает кружиться в прецессионном движении, ко-

торое делается постепенно все меньше и меньше, пока волчок не воспринимает опять вертикального положения. Я надеюсь, вы не подумаете, что время, употребленное на внимательное наблюдение таких явлений, потрачено даром. Научное наблюдение самых обыкновенных явлений, которые встречаются в нашей повседневной жизни, никогда не пропадет даром, и часто я думаю, что если бы рабочие, т.-е. те лица, которые наиболее освоились с неорганической природой, умели только наблюдать и применять простые научные законы к своим наблюдениям, то вместо одного великого открытия в столетие мы имели бы по великому открытию каждый год. Но вернемся к нашему волчку; тут следует сделать всего два важных наблюдения. На короткое время оставим без внимания легкие колебательные движения волчка. Первое наблюдение, которое мы делаем, состоит в том, что волчок наклоняется в первый момент не по направлению удара. Если я ударяю по направлению к югу, то волчок наклоняется к западу, если же ударяю по направлению к западу, волчок наклоняется к северу. Причина этих явлений теперь известна всем научно-образованным людям; закон, лежащий в основе положения волчка, во многих отношениях очень важен, и я надеюсь сделать его понятным для вас. Второй факт, что волчок постепенно достигает своего вертикального положения, известен каждому, но причина этого далеко не всем известна; однако, я думаю, что вам не трудно будет ее понять.

Первое явление можно наблюдать на том барабане, который я уже показывал. Этот барабан (рис. 5) с маховым колесом внутри называется гиростатом. Если я толкаю барабан, то он не на-

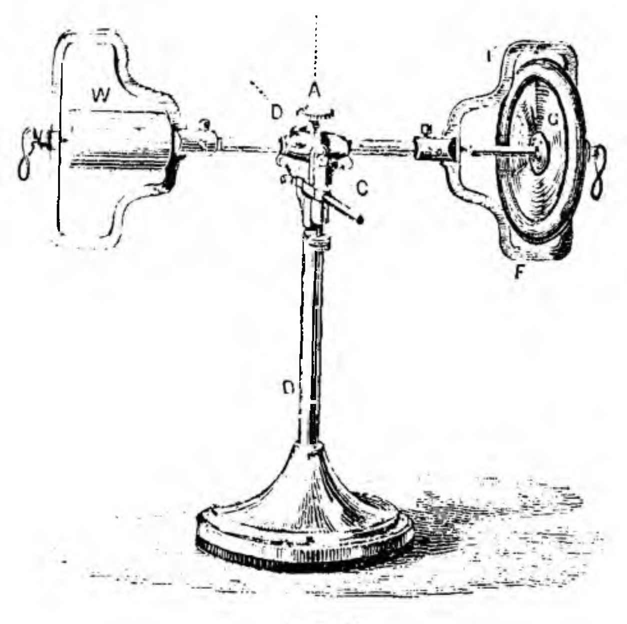


Рис. 13.

клоняется, но медленно поворачивается кругом. На этом гиростате нельзя наблюдать второго явления; если я выведу его из вертикального положения, он не подымается снова, но, наоборот, будет прецессировать по все бо́льшим и бо́льшим кругам, все дальше и дальше удаляясь от своего вертикального положения.

Первое явление легче всего изучать на уравновешенном гиростате (рис. 13). Вы видите здесь маховое колесо G в прочной латунной раме F, которая так укреплена, что может свободно вращаться, как вокруг вертикальной оси AB, так и

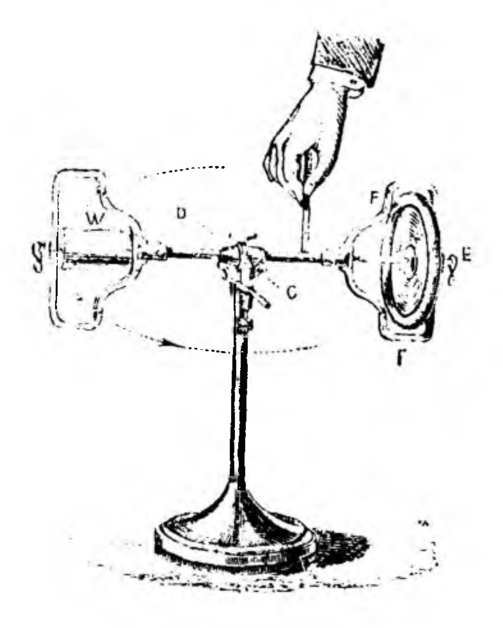


Рис. 14.

вокруг горизонтальной CD. Гиростат уравновешен противовесом W. Заметьте, что я могу увеличить или уменьшить плечо рычага, на которое действует груз W, меняя его положение во втулке A, так что противовес будет или поднимать гиростат,

или опускать, или же точно его уравновесит, как это сейчас происходит. Теперь вы должны тщательно наблюдать то, что мы желаем изучать. Когда я пытаюсь толкнуть этой палочкой раму F вниз (рис. 14),—она на самом деле движется горизонтально направо; теперь я толкаю раму на-

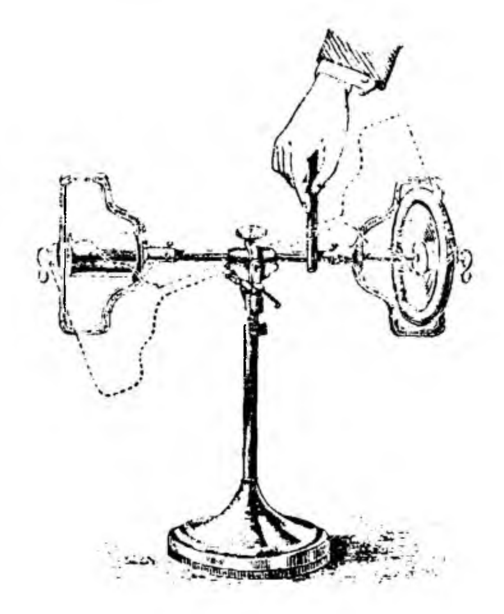


Рис. 15.

право,—она поднимается вверх (рис. 15); теперь я толкаю ее вверх,—она, как видите, идет влево; если же я толкаю ее влево,—она опускается вниз. Вы можете заметить, что если я закреплю прибор

так, чтобы он не мог двигаться в вертикальной плоскости,—он будет сразу после удара двигаться горизонтально; если я помешаю горизонтальному движению,—он будет двигаться вертикально, когда я его толкну. Оставив его свободным, как раньше, я так перемещу положение груза W, чтобы он



Рис. 16 [1]).

постоянно стремился поднимать гиростат вверх; вы видите, что прибор не поднимается, но медленно движется прецессионным движением. Я опять

[1]) На рис. 16 ось показана наклонной, но я предпочел бы, если бы это не было труднее изобразить, показать прецессию, имеющую место при горизонтальной оси.

передвигаю груз W так, что гиростат упал бы, если бы не вращался (рис. 16), и теперь он медленно движется горизонтальным прецессионным движением по направлению противоположно первому. Эти явления объясняются легко, но, как я уже раньше сказал, они должны быть внимательно наблюдены. Вы все теперь приблизительно знаете основной факт: если я пытаюсь изменить направление оси быстро вращающегося тела, то эта ось изменит свое направление не в ту сторону, в какую я действовал. Это, пожалуй, еще более удивительно, чем история со свиньей крестьянина, который тем только мог ее заставить идти в город Корк, что убедил ее, будто он тащит ее домой. Его правило было весьма просто, и мы должны найти правило для нашего вращающегося тела, подобного раку, который только тогда идет прямо по дороге, когда его толкают в сторону.

Как иллюстрацию этого, рассмотрим вращающийся снаряд, показанный на чертеже 10. Вращение стремится держать его ось всегда в том же направлении. Но здесь наблюдается недостаток в расположении, который вы теперь в состоянии понять. Вы видите, что в A воздух должен давить на нижнюю поверхность AA, и я должен объяснить, что это давление стремится повернуть снаряд широкой стороной к потоку воздуха. Если лодка на реке не может двигаться, как целое, но привязана к середине, то она становится широкой стороной против течения. Посмотрите на этот диск

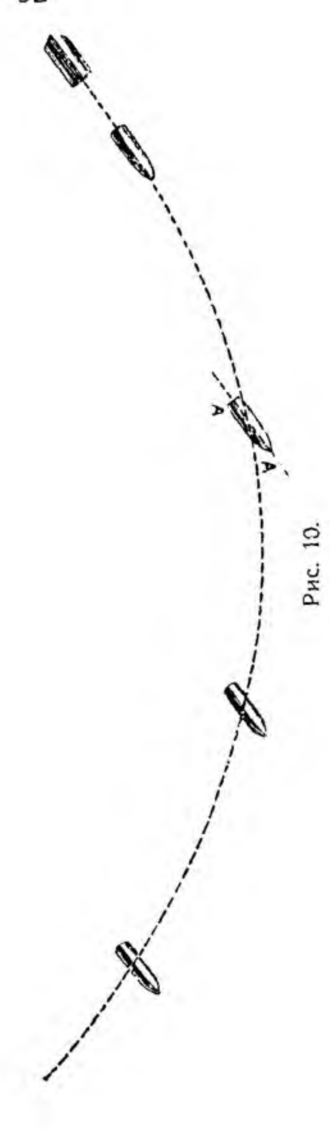


Рис. 10.

из картона, который я кидаю в воздух ребром, и заметьте, как быстро он поворачивается широкой стороной и медленно падает вниз. Вероятно, некоторые из вас бросали в Адене мелкие серебряные монеты в воду ныряющим мальчикам; и вы понимаете, что если бы монета, колеблясь, медленно не падала в воду широкой стороной, то ни один из ныряющих мальчиков не мог бы поймать ее. Но все это между прочим. Давление воздуха стремится повернуть снаряд широкой стороной вперед, но, благодаря вращению снаряд не отклоняется в направлении действия силы, т.-е. в сторону поперечную пути, так же, как этот гиростат, когда я пытаюсь поставить его отвесно; ось вращения снаряда выходит из плоскости чертежа или плос-

кости его полета. Только артиллеристы точно знают, что с ним происходит; этот **поворот** снаряда причиняет им много хлопот [1]).

Вы можете заметить, что наученный опытом ребенок, желая изменить направление своего обруча, производит на него давление своей палкой, чтобы наклонить его. Человек на велосипеде меняет свое направление, наклоняясь так, как-будто теряет равновесие. Однако, вам следует напомнить, что движение велосипеда и ездока не вращательное, так как оно вовсе не аналогично движению волчка или гиростата. Объяснение уклона от прямого пути, когда всадник наклоняет свое тело, сводится окончательно к тому же простому принципу, ко второму закону движения Ньютона, но достигается гораздо легче. По той же причине, короче говоря, благодаря действию центростремительной силы, всадник, если только он не придает значения своей внешности, может действительно помочь своей лошади сделать быстрый и крутой поворот во время езды, наклоняя свое тело в желаемую сторону. Чем медленнее бежит лошадь, тем больше стремление к повороту, при данном наклонении тела. Цирковые наездники, галопируя по кругу, много помогают своим лошадям поло-

---

[1]) Исследования сэра Грингелля показывают, что метательный снаряд прецессирует вокруг касательной к его пути. Трение воздуха заглушает прецессию и заставляет ось приближаться к направлению касательной. Отношение длины снаряда к диаметру очень важно для устойчивости.

жением своего тела; и, конечно, не для того, чтобы спастись от падения под действием центробежной силы, они принимают такое положение на спине лошади, которому ни один учитель верховой езды не позволил бы подражать своему ученику. Почтенные наездники нашей страны не гнушались бы помогать своим лошадям таким образом при быстрых поворотах, если бы они охотились или собирали скот, подобно американским ковбоям.

Очень хорошие иллюстрации перемены направления катящегося тела представляет игра в шары. Вы знаете, что шар, не имеющий никакой неправильности, т.-е. неравномерного распределения тяжести внутри, которое стремилось бы повернуть его, катился бы по ровному полю прямо вперед с убывающей скоростью, пока не остановился бы. Однако, вы знаете, что вначале, при быстром движении, путь его почти вполне прямой, но благодаря неправильности шара он никогда не движется совершенно прямо, но по мере уменьшения скорости путь его искривляется все больше и больше. Во всех наших примерах, чем медленнее вращение, тем быстрее прецессия, вызываемая данными отклоняющими силами.

Теперь точное наблюдение даст нам простое правило относительно поведения гиростата. В самом деле, все, что было непонятно или странно, сразу исчезает, если я, не говоря о движении гиростата вверх или вниз, направо или налево, буду говорить о его движениях около различных осей.

Он не оказывает никакого сопротивления простому поступательному движению. Когда же я говорил о его горизонтальном движении, я должен был бы говорить, что он движется около вертикальной оси AD (черт. 13). А то, что описывал, как движение F вверх и вниз, на самом деле есть движение в вертикальной плоскости около горизонтальной оси CD. В будущем, когда речь пойдет о собщении движения раме F, надо разуметь лишь ось, около которой я стараюсь повернуть ее, и тогда небольшое соображение выяснит нам причину вышеуказанных явлений.



Рис. 17.

Вот гиростат (черт. 17), подвешенный на кольцах так тщательно, что ни тяжесть, ни силы трения не стесняют его. Что бы я ни делал с этой рамой, которую я держу в руке, ничто не изменяет направления оси EF гиростата. Заметьте, что я поворачиваюсь на носках, как балетный танцор держа его в руке. Я двигаю его вокруг по всем направлениям, но если ось его была направлена вначале к Полярной Звезде, то она остается в том,

же направлении; если же она вначале указывала на луну, она и теперь обращена к ней. Дело в том, что здесь почти нет трения на стержнях, почти нет сил, стремящихся повернуть ось вращения гиростата, и я могу только сообщить ему поступательное движение. Но теперь я зажму вертикальную ось винтом и возобновлю свой балетный танец. Вы заметите, что мне не надо оборачиваться кругом; небольшой части оборота довольно, чтобы привести ось вращения гиростата (черт. 18) в вертикальное положение, т.-е. параллельно вертикальной оси того вращения, которое я сообщаю ему. Теперь я поворачиваюсь в противоположном направлении, и гиростат вдруг делает сальто-мортале, совершенно переворачивается, и ось его снова делается вертикальной. Если вы тщательно проследите направление вращения гиростата, то найдете следующее правило, верное во всех слу-



Рис. 18.

чаях: не обращайте никакого внимания на чисто поступательное движение, думайте только о вращении около осей и помните, что когда вы заставляете ось тела вращаться, то оно стремится установить свою ось параллельно новой оси, около которой вы вращаете его. Кроме того, оно стремится привести свою ось вращения в то же направление, какое имеет ось нового вращения. Я снова поворачиваюсь на носках, держа эту раму, и я знаю, что для лица, смотрящего с потолка, я и гиростат представляемся вращающимися в одном и том же направлении, в направлении именно часовых стрелок. Если же я стану вращаться против часовых стрелок (черт. 19), гиростат переворачивается и снова вращается в том же направлении, что и я.

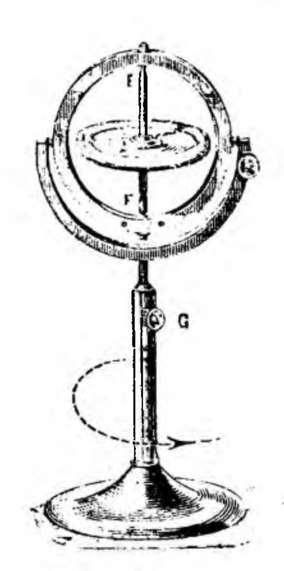


Рис. 19.

Вот простое правило, которое позволяет вам заранее предсказать, как будет двигаться гиростат, если вы попытаетесь повернуть его в каком-нибудь направлении. Вы должны только помнить, что если продолжать свои усилия довольно долго,

то ось вращения станет параллельно своей новой оси вращения, и направление вращения будет то же, что и ваше.

Теперь позвольте мне применить это правило к этому уравновешенному гиростату. Я толкаю его или даю ему толчок вниз, но заметьте, что на деле это обозначает вращение около горизонтальной оси CD (черт. 13); и вот гиростат поворачивает свою ось, как будто она стремится стать параллельной CD. Таким образом, если смотреть сверху вниз (как показано на ч. 20), то OE было направление оси вращения, OD была ось около которой я старался двигать гиростат, и мгновенное действие переместило OE в положение OG. Более сильный импульс того же рода заставил бы ось вращения тотчас перейти в OH или OJ, тогда как противоположный импульс вверх заставил бы ось вращения принять направление

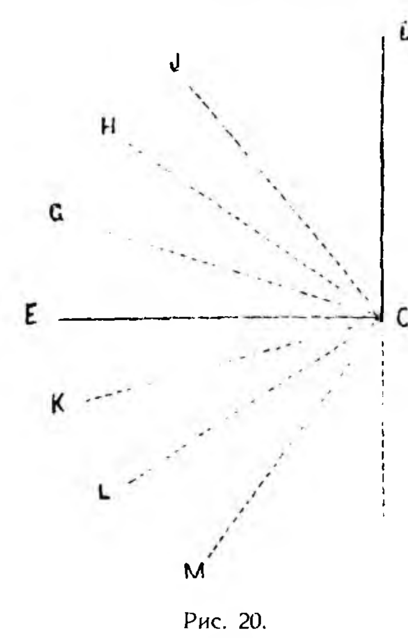


Рис. 20.

OK, OL или OM, в зависимости от величины и скорости вращения. Наблюдая эти явления в первый раз, можно сказать: „я толкал гиростат вниз, а он подвигался вправо; я толкал его вверх, а он подвигался влево“. Но если бы направление вращения было противоположно настоящему, то можно бы сказать: „я толкал его вниз, а он двигался влево; я толкал его вверх, а он двигался вправо“. Простое правило во всех случаях должно быть таково: „я пытался вращать его около новой оси, а в результате он повернул свою ось вращения по направлению новой оси“. Если бы вы ради забавы стали толкать этот уравновешенный гиростат по всем направлениям, то нашли бы, что это правило верно, и что без труда можно предсказать, что произойдет.

Если это правило верно, то мы сразу увидим, почему происходит прецессия. Я вывожу этот гиростат (черт. 13) из равновесия, и если бы он не вращался, то упал бы вниз; но сила, действующая вниз, на деле заставляет гиростат двигаться вправо, и вы видите, что он постоянно движется в этом направлении, так как сила действует все время вниз, и ось вращения постоянно стремится к новым осям, к тем именно, около которых непрерывно стремится ее вращать сила тяжести. Мы видим также, почему при ином нарушении равновесия, когда тяжесть стремится поднять гиростат, прецессия происходит в противоположном направлении. Приводя этот гиростат в движение и со-

общая ему всевозможные толчки, можно сделать иные наблюдения и заметить, что указанное выше правило упрощает их все, т.-е. позволяет нам запомнить их. Например, если ускорить прецессию этой палкой, то гиростат будет двигаться противоположно силе, вызывающей прецессию. Я придаю особенное значение тому, чтобы вы запомнили это. Вот гиря помещена так, что гиростат упал бы, если бы не вращался. Но он вращается и потому прецессирует. При большей тяжести он прецессировал бы быстрее, и нам теперь понятно, что эта прецессия позволяет силе тяжести быть бездеятельной в прямом движении вниз. Вы видите, что при ускорении прецессии она более, чем достаточна для уравновешения тяжести, и гиростат поднимается. Если я замедлю прецессию, она уже не может уравновесить тяжести, и гиростат падает. Если я зажму эту вертикальную ось так, что прецессия невозможна, вы заметите, что гиростат падает, как если бы он не вращался. Если я зажму прибор так, что он не может двигаться вертикально, вы заметите, как легко я могу привести его в горизонтальное движение: я могу заставить его вращаться горизонтально, подобно обыкновенному телу.

Применяя наше правило к этому волчку, заметьте, что ось вращения есть ось EF волчка (черт. 12). Как видно на чертеже, тяжесть стремится вращать волчок около оси FD, и ось вращения в своем стремлении к оси FD описывает

при прецессии конус в пространстве. Этот гиростат, равный по весу волчку, вращается и прецессирует точно так же, как волчок; т.-е., применяя наше правило или пользуясь вашими наблюдениями, вы найдете, что, для наблюдателя над столом, вращение и прецессия происходят в одном

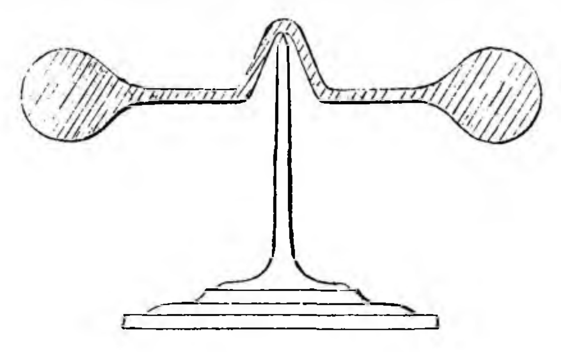


Рис. 21.

и том же направлении, т.-е. или оба в направлении стрелок часов, или оба в противоположном. Между тем, у волчка, подобно лежащему перед вами (черт. 21), поддерживаемому выше своего центра тяжести, или у гиростата (черт. 22), также подвешенного выше своего центра тяжести, или гиростата, показанного на черт. 56, или у всякого другого гиростата, подвешенного таким образом, что он был бы в устойчивом равновесии, если бы не вращался, — во всех этих случаях для наблюдателя помещенного над столом, прецессия происходит в направлении, противоположном вращению.

Если сообщить толчок волчку или гиростату в направлении прецессии, то он поднимется в направлении, противоположном силе тяжести, и если бы в известный момент скорость его прецессии стала больше, чем это необходимо для уравновешения силы тяжести, то волчок или гиростат поднялся бы, а скорость его прецессии уменьши-

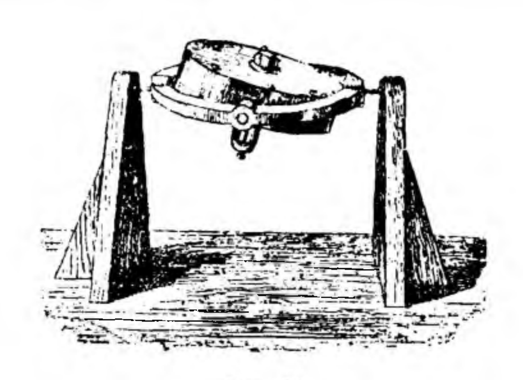


Рис. 22.

лась. Если же скорость прецессии слишком мала, волчок начинает падать, и при падении скорость прецессии возрастает.

Итак, я говорю, что все факты, полученные из наблюдений, согласны с нашими правилами. Я просил бы вас всегда помнить их все. Вы видите, что на этой стенной таблице я составил их список. Я говорю о тяжести, вызывающей прецессию, но силы могут быть и иные, отличные от тех, которые порождены тяжестью.

Стенная таблица.

I правило. Когда на вращающееся тело действуют силы, стремящиеся вызвать вращение около другой оси, отличной от его собственной оси вращения, то последняя приближается к совпадению с новой осью вращения. Полное совпадение означало бы совершенный параллелизм осей, и что вращения имеют одно и то же направление.

II. При ускорении прецессии, тело поднимается в направлении противоположном действию силы тяжести.

III. При замедлении прецессии тело падает так, как оно падало бы под действием тяжести при отсутствии вращения.

IV. Обыкновенный волчок прецессирует в том же направлении, в котором он вращается.

V. Волчок, поддерживаемый выше своего центра тяжести, или тело, находящееся в устойчивом равновесии при отсутствии вращения, прецессируют в направлении, противоположном вращению.

VI. Последние два правила сводятся к таковому: когда силы, действующие на вращающееся тело, стремятся увеличить угол прецессии, то прецессия происходит в том же направлении, как и вращение, и наоборот.

Получив из наблюдения правило, всякий физик пытается сделать его рациональным, т.-е. объяснить его. Я надеюсь, вы знаете, что мы разумеем, говоря, что объясняем явление: это в действитель-

ности означает, что мы думаем показать связь этого явления с другими, лучше известными явлениями. Так, если вы обличаете спирита и показываете, что вызванные им явления зависят лишь от ловкости рук и обмана, вы объясняете явления.

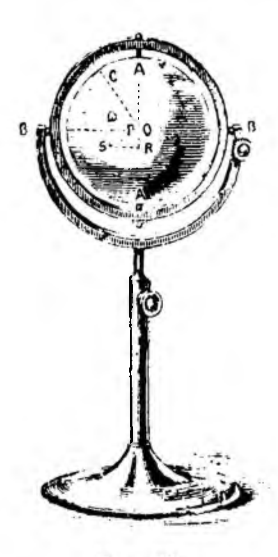


Рис. 23.

Когда вы показываете, что они все согласны с хорошо наблюденными и уставленными месмерическими влияниями, вы также объясняете явления. Когда вы показываете, что они могут быть вызваны помощью телеграфных сообщений или отражением света от зеркал, вы объясняете явления, хотя во всех этих случаях вы в действительности не знаете природы месмеризма, электричества, света или нравственной непорядочности.

Худший род критики тот, когда человек умаляет научные объяснения, говоря, что простейшие факты природы необъяснимы. Такой человек предпочитает хаотическую и запутанную веру дикаря в чудеса объяснениям Исаака Ньютона.

Объяснение нашего правила легко. Вот гиростат (черт. 23), по форме подобный земле; он на-

ходится в покое. К сожалению, я принужден подвесить этот шар явным образом на кольцах, связанных шарнирами. Если бы этот шар плавал в воздухе и не имел стремления упасть, мое объяснение было бы понятнее, и я мог бы лучше иллюстрировать его опытным путем. Рассмотрим точку P. Если я слегка поверну шар вокруг оси A, точка движется к Q. Но предположите вместо этого, что шар и внутреннее кольцо вращаются около оси B; тогда точка P подвинулась бы к R. Теперь допустите, что оба эти вращения происходят одновременно. Все вы знаете, что точка R не будет двигаться ни к Q, ни к R, а подвинется к S, причем PS — диагональ небольшого параллелограмма. Тогда равнодействующее движение не будет происходить ни около оси OA, ни около оси OB, а вокруг некоторой оси OC.

Этому шару я сообщил одновременно два вращения. Предположите, что на этом шаре находится маленькое существо, которое не может видеть колец, но способно наблюдать другие предметы в этой комнате. Оно сказало бы, что вращение не происходит ни около OA, ни около OB, но что действительная ось его земли—некоторая средняя линия OC.

Затем, если шар внезапно получает толчок в двух различных направлениях, то, чтобы определить, как он будет вращаться, мы должны сначала найти, какую скорость вызвал бы каждый удар, действуя отдельно, и около какой оси. Вра-

щение в три оборота в секунду около оси ОА (черт. 24) и вращение в два оборота в секунду около оси ОВ означают на деле, что шар будет вращаться около оси ОС со скоростью в три с половиной оборота в секунду. Чтобы получить этот результат, я сделал ОА в три фута длины (всякий другой масштаб годился бы для этой цели), а ОВ — в два фута и нашел диагональ ОС параллелограмма, показанного на чертеже, в три с половиною фута.

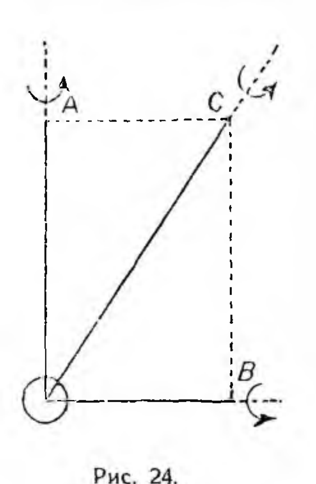


Рис. 24.

Заметьте, что если вращение около оси ОА происходит по направлению часовых стрелок, смотря из О в А, то вращение около оси ОВ, смотря из О в В, должно быть также по направлению часовых стрелок, и равнодействующее движение около оси ОС равным образом имеет направление часовых стрелок, смотря из О в С. Черт. 25 показывает на двух диаграммах, как вращение необходимо должно иметь то же направление по отношению к стрелкам часов, если смотреть из О вдоль ОА или ОВ. Эти построения хорошо известны всем, изучавшим принципы элементарной

механики. Очевидно, что если вращение около OA гораздо больше, чем около OB, то положение новой оси OC должно быть гораздо ближе к OA, чем к OB.

Итак, вы видите, что если тело вращается около оси OA, и мы прилагаем к нему силы, ко-

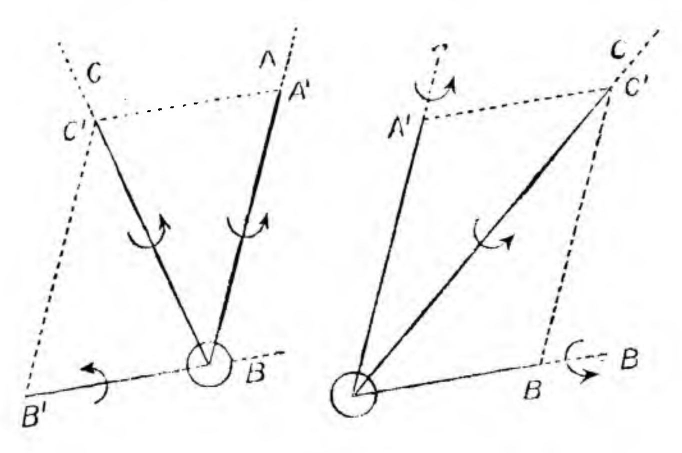


Рис. 25.

торые в спокойном состоянии повернули бы его вокруг оси OB, то это вызовет перемещение оси вращения в OC, т.-е. ось вращения приходит в совпадение с новой осью. Это первое правило нашей стенной таблицы, из которого могут быть выведены все другие правила, предполагая, что они в самом деле не получены из наблюдения. Но я не говорю, что я дал полное доказательство для всех случаев, так как маховое колесо в этих

гиростатах движется во втулках, которые заставляют оси принимать новые положения, тогда как волчок не понуждается к этому ничем подобным. Но в течение ограниченного срока популярной лекции невозможно даже при желании дать исчерпывающее доказательство такого универсального правила, как наше. Что я не исчерпал всего, что можно сказать по этому предмету, будет очевидно из следующего

Если мы имеем вращающийся шар и сообщим ему новый род вращения, что тогда случится? Предположите, например, что земля есть однородный шар, и ему внезапно сообщено новое вращательное движение, стремящееся переместить Африку к югу; ось этого нового вращения имела бы полюс на Яве. Это вращение в связи со старым заставило бы землю образовать истинный полюс где-нибудь между настоящим полюсом и Явой, и она уже не вращалась бы около своей нынешней оси. В самом деле, ось вращения была бы изменена, и не было бы никакого повода к новым переменам, так как однородный шар будет вращаться так же легко около одной оси, как около другой. Но если бы подобная вещь случилась с нашей землей, которая не представляет шара, но сплюснутый сфероид, подобно апельсину, у которого полярный диаметр на треть процента короче экваториального, то ось симметрии тотчас по установлении новой оси отозвалась бы на перемену и попыталась бы снова стать осью враще-

ния, при чем возникло бы огромное колебательное движение. Я излагаю дело популярным языком, говоря о „чувствительности“ оси; может быть, лучше объяснить точнее то, что я думаю. Мне придется при этом пользоваться выражением „центробежная сила“. Но есть придирчивые критики, которые возражают против этого термина, хотя все инженеры пользуются им; и я охотно употребляю его, хотя наши придирчивые критики прибегают ко всевозможным неуклюжим уловкам речи, избегая его употребления. Это выражение обозначает силу, с которой тело действует на препятствия, когда оно принуждено двигаться по кривому пути. Эта сила направлена всегда в сторону от центра кривой. Когда шар вращается по кривой на конце шнурка, то его центробежная сила стремится разорвать шнурок. Когда тело, прикрепленное к стержню, вращается с ним, то возможно, что центробежные силы всех частей как-раз уравновешивают друг друга; но иногда этого нет, и тогда мы говорим, что стержень не уравновешен. Вот, напр., вращающийся деревянный диск; он уравновешен. Но я останавливаю его движение и прикрепляю к нему кусок свинца А; вы замечаете, что при вращении круг выходит из равновесия так, что втулки стержня и рамка, поддерживающая их, даже стол лектора дрожат. Теперь я уравновешу опять прибор, укрепляя другой кусок свинца В на стороне оси, противоположной А; если я снова стану вращать диск (черт. 26), то никакого

дрожания рамы уже не будет. Когда шатуны паровоза не уравновешены посредством грузов, надлежащим образом расположенных на ведущих колесах, то в поезде никого не найдется, кто не ощутил бы этого. Даже счет потребляемого угля показывает это, так как неуравновешенная машина тащит поезд толчками вместо того, чтобы производить надлежащую постоянную тягу. Мой друг проф. Мильн в Японии помещал приборы для измерения землетрясений на машины и поезда для измерения некоторых недостатков равновесия, и он безошибочно показал, что две машины почти одинакового общего типа, одна—надлежаще уравновешенная, а другая—нет, потребляют разные количества угля, делая тот же пробег с той же скоростью.

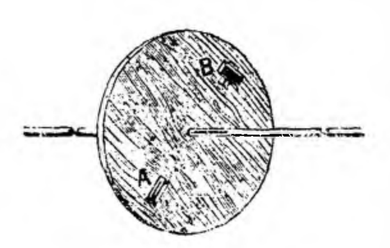


Рис. 26.

Если вращающееся тело в равновесии, то ось вращения не только проходит через центр тяжести (или, скорее, центр массы или инерции) тела, но она должна быть одной из трех главных осей, проходящих через центр инерции тела. Вот, напр., деревянный эллипсоид; AA, BB и CC (черт. 27)—его три главные оси, и он был бы в равновесии, вращаясь около одной из них; вращаясь около другой оси, он бы не был в равновесии, исключая

тот случай, когда он представлял бы однородный шар, всякий диаметр которого есть главная ось.

Всякое тело имеет три таких главных оси, проходящих через центр его инерции (массы), и это тело (черт. 27) имеет их; но я заставил его вращаться около оси DD, и все вы замечаете действие неуравновешенных центробежных сил, которое почти так велико, что может разорвать раму на части. Чем больше скорость, тем важнее этот недостаток равновесия. Если скорость удвоится, центробежные силы станут в четыре раза больше; и современные инженеры-механики с их быстро движущимися машинами, из которых некоторые, подобно турбинам миноносцев, делают до 1.700 оборотов в минуту, должны обращать большое внимание на этот предмет, над которым прежние инженеры никогда не ломали себе головы. Вы должны помнить, что, если даже недостаток равновесия в действительности не разламывает рамы, то он настолько все же расшатывает машину, что гайки, винты и другие скрепления наверное расслабляются.

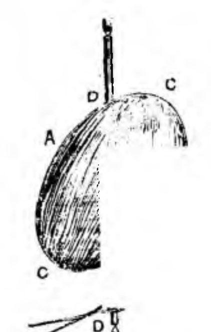


Рис. 27.

Я видел на одной дурно уравновешенной машине пару прочно скрепленных гаек, из которых одна предназначалась для поддержания другой; гайки одновременно вращались на своем стержне

и постепенно, но с неуклонной и довольно большой скоростью, сползали, пока обе не соскочили с конца стержня и не угодили в мою руку. Если бы моей руки не было там, то стержни скатились бы в бочку, где вызвали бы интересные, но крайне разрушительные явления. Если бы это случилось, вы имели бы сегодня другого лектора.

Теперь предположите, что наша земля вращалась бы около другой оси, отличной от ее теперешней, — вокруг какой-нибудь оси симметрии. Если бы, напр., она вращалась около одного из диаметров экватора, то центробежные силы удерживали бы ее в состоянии неустойчивого равновесия; при чем не могло бы произойти большого изменения, пока некоторая случайная причина не вызвала бы легкого изменения оси вращения, и после этого земля стала бы сильно колебаться. Как долго и как сильно качалась бы земля, это зависело бы от множества обстоятельств, о которых я теперь не решаюсь гадать. Если вы скажете мне, что в общем, несмотря на сильное колебание, земля существенно не изменит своей формы, то я буду утверждать, что благодаря приливному трению и другим причинам она непременно возвратится к спокойному вращению около своей теперешней оси.

Итак, вы видите, что, хотя всякое тело имеет три оси, вокруг которых оно может вращаться в уравновешенном состоянии, не обнаруживая стремления к колебанию, это равновесие центробежных

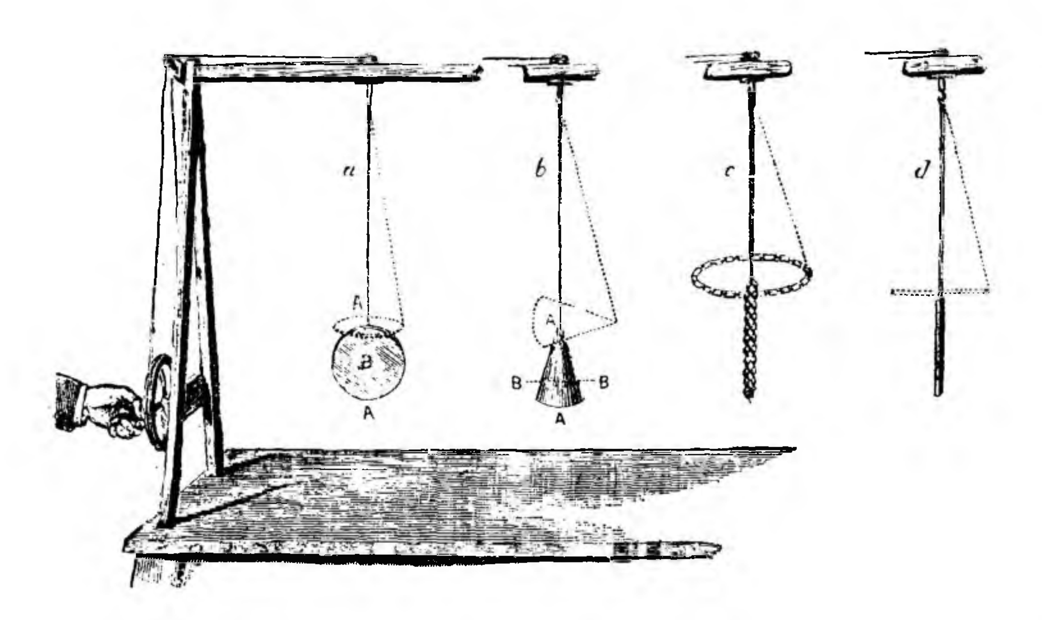


Рис. 28.

сил на деле неустойчиво в двух или трех случаях и есть только одна ось, около которой может иметь место совершенно устойчивое уравновешенное вращение. Вообще вращающееся тело начинает вращаться вокруг этой оси, если в течение долгого времени оно предоставлено самому себе, и если трение успокаивает его колебания.

Для иллюстрации этого я имею возможность показать здесь способ вращения тел, который позволяет им выбирать ту главную ось вращения около которой вращение наиболее устойчиво. Различные тела могут быть подвешены на конце этого шнурка, и я заставляю вращаться блок, на котором висит шнурок. Заметьте, что сначала диск (черт. 28 a) спокойно вращается около осии AA, но вскоре вы замечаете слабое раскачивание; теперь оно усиливается, и диск устойчиво и спокойно вращается около оси BB, как наиболее важной из главных осей.

Затем этот конус (черт. 28 b) также сначала вращается спокойно около оси AA; но вот начинается колебание и становится все сильнее и сильнее; наконец, конус начинает спокойно вращаться около оси BB, наиболее важной из его главных осей. Вот еще палка, подвешенная на одном конце (черт. 28 d).

Посмотрите также на это якорное кольцо. Но вас, быть может, более заинтересует это гибкое кольцо из цепи (черт. 28 c). Видите, как оно сначала висит вертикально на веревке, и как его качания и колебания кончаются тем, что оно ста-

новится совершенно круглым кольцом, лежащим целиком в горизонтальной плоскости. Этот опыт иллюстрирует также кажущуюся твердость, которую быстрое движение придает гибкому телу.

Теперь возвратимся к нашему уравновешенному гиростату (черт. 13). Он не прецессирует, а потому,

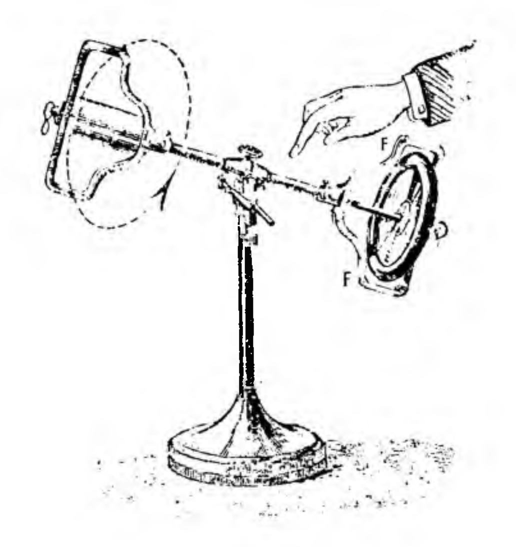


Рис. 29.

как вы знаете, груз W как-раз уравновешивает гиростат F. Если я дам раме F толчок вниз, не производя постоянного давления, и предоставлю прибор самому себе, то вы заметите, что гиростат отклоняется направо по указанной уже причине; но он отклоняется очень сильно и слишком далеко,

подобно всякому другому колеблющемуся телу. Из того, что я уже сказал, легко видеть, что следствием такого отклонения будет колебательное движение (черт. 29); оно будет продолжаться, пока трение не остановит его; гиростат F примет новое устойчивое положение лишь по истечении некоторого времени.

Вы видите, что я могу сообщить гиростату это колебание или качание, имеет ли оно прецессионное движение, или нет. Вот он качается и прецессирует кругом, т.-е., прецессируя, он поднимается и падает.

Может быть, следует изложить этот вопрос несколько яснее. Вы видите то же явление на этом волчке. Если волчок прецессирует слишком быстро сравнительно с силой тяжести, волчок поднимается, и потому прецессия уменьшается; теперь прецессия слишком медленна, чтобы уравновесить тяжесть, и волчок немного наклоняется, а прецессия снова возрастает. Этот род колебания около среднего положения происходит точно так, как колебание маятника, пока трение не прекращает его, и волчок прецессирует правильнее в среднем положении. Это качание очевиднее в гиростате, уравновешенном почти горизонтально, чем в волчке, так как у волчка стремление тяжести повернуть его меньше в более отвесном положении.

Когда ученые пытаются популяризировать свои открытия, то ради уяснения некоторого факта они часто допускают легкие искажения, которые скорее

сбивают их слушателей по достижении ими более высокого уровня знаний. Так, астрономы говорят публике, что земля движется вокруг солнца по эллиптической орбите, тогда как притяжения планет делают ее путь лишь приблизительно эллиптическим. Электрики говорят публике, что электрическая энергия перемещается по проволоке, тогда как на деле она проводится всяким другим пространством, но только не тем, которое занято проволоками. В этой лекции я также до некоторой степени прибегал к такому приему: так, например, вспомните, что сначала я пренебрегал качанием или колебанием, которое вызывается у волчка или гиростата вследствие толчка; затем повсюду я пренебрегаю фактом, что мгновенная ось вращения лишь приблизительно совпадает с геометрической осью прецессирующего гиростата или волчка. Вообще вы можете принять, что, если бы все наши утверждения приходилось выражать абсолютно точно, то было бы необходимо пользоваться сотнями технических терминов и неясных положений с объяснительными примечаниями, как в страховом полисе; и выслушать много таких утверждений было бы абсолютно невозможно даже для ученого. Вы едва ли ожидаете, однако, что такой великий ученый, как покойный профессор Ранкин, под влиянием поэтического вдохновения ошибся даже больше, чем популярный лектор, подчиняя точность выражения требованиям стихосложения и необходимости в простоте изложения. В своем

стихотворении „Влюбленный математик“ он написал следующие строки:

Любила эта дама танцы; он составил
Для польки и для вальса уравнение;
Когда ж вокруг своей оси он закружился,
Его центр тяжести вбок наклонился,
И он упал в силу земного притяжения.



Рис. 17.

Я не сомневаюсь, что эта экскурсия в область поэзии настолько хороша, насколько этого можно ожидать от человека науки, но и с научной точки зрения она хороша настолько, насколько этого можно ожидать от человека, называющего себя поэтом; но в обоих случаях мы имеем доказательство несовместимости науки и стихотворчества.

Движение этого гиростата можно сделать еще более сложным, чем оно было, прибавив нутацию и прецессию, но на деле здесь нет ничего, чего нельзя было бы объяснить простыми правилами, изложенными мною. Посмотрите, например, на этот хорошо уравновешенный гиростат (черт. 17). Если

я ударю внутреннее кольцо каким-либо образом, то вы видите, что оно быстро дрожит, подобно куску студня, при чем его быстрые колебания замирают точно так же, как и колебания какого-нибудь гибкого, упругого тела. Эта странная упругость представляет большой интерес, если мы рассмотрим ее в связи с молекулярными свойствами материи. Здесь (черт. 30) у нас еще пример, который даже интереснее. Я поставил закрытый гиростат, изображенный на черт. 5 и 6, на пару подпорок, и вы можете заметить, что он хотя и движется совершенно устойчиво, но весьма любопытным родом дрожательно-колебательного движения; но при всем своеобразии этого движения, в нем нет ничего необъяснимого для вас, если вы следили за мной до сих пор.

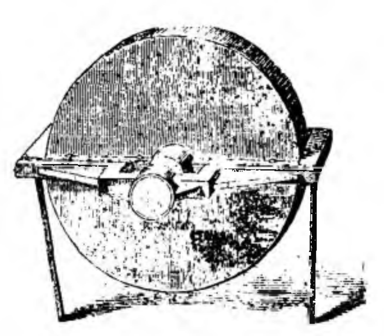


Рис. 30.

Некоторые из вас, будучи более наблюдательны, вероятно, заметят, что все эти прецессирующие гиростаты постепенно падают ниже и ниже, точно так, как это случилось бы, если бы они не вращались. Если вы бросите взгляд на третье правило нашей стенной таблицы (стр. 63), то легко поймете, почему это так.

„Замедлите процессию, и тело упадет, как это случилось бы под действием силы тяжести, если бы тело не вращалось". Ведь, прецессия всякого из гиростатов замедляется трением, и потому они падают все ниже и ниже.

Я буду удивлен, если кто-нибудь из вас следил за мной настолько, чтобы знать, почему вращающийся волчок поднимается. Может быть, вы еще не имели времени подумать над этим, но я подчеркивал несколько раз особенные факты, объясняющие это явление. Трение заставляет гиростат падать, что же принуждает волчок подниматься? Быстрый подъем в вертикальном положении есть неизменный признак быстрого вращения волчка, и я вспоминаю, как мы говорили в этом случае: „он спит". Так трогательно судил юный экспериментатор о прекрасном предмете своего нежного чувства.

Как ни хорошо известно это стремление волчка подниматься с тех пор, как его пускали в первый раз, я спрашиваю, знает ли кто-нибудь из присутствующих в этой зале объяснение этого факта, и сомневаюсь, известно ли это иначе, как очень немногим. Всякий математик скажет вам, что объяснение наверное можно найти у Рута [1]), или во всяком случае он знает людей в Кембридже, которые наверное знают это, и он думает, что он сам должен был знать это, хотя теперь забыл те сложные математические доказательства, кото-

[1]) Известный английский учебник механики.

рыми он когда-то упражнял свой ум. Я уверен, что все эти утверждения ошибочны, но не вполне убежден в этом [1]). Частичная теория этого явления была дана Арчибальдом Смитом в Кембриджском математическом журнале несколько лет тому назад, но задача эта решена сэром Вильямом Томсоном и проф. Блекберном, когда они целый год жили вместе на берегу моря, готовясь к математическому

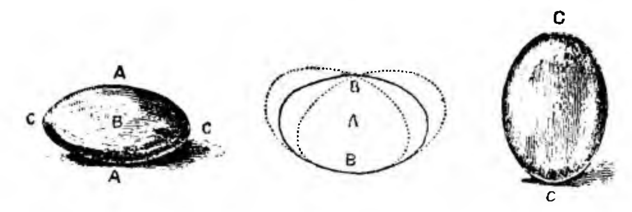


Рис. 31.

экзамену в Кембридже. Должно быть, я удивлю лиц, интересующихся работами Томсона, заметив, что отдых на берегу моря проводился им и его другом во вращении всякого рода закругленных камней, которые они собирали на взморьи.

Теперь я покажу вам удивительное явление, которое тогда приводило Томсона в недоумение. Этот эллипсоид (черт. 31) представляет стертый

---

[1]) Когда эта лекция, излагающая указанное утверждение, была в руках издателей, проф. Фицджеральд указал мне на Трактат по теории трения покойного проф. Джеллета, изданный в 1872 г., и там на стр. 18 я нашел математическое объяснение поднятия волчка

водою камень. Он лежит в самом устойчивом положении на столе, и я привожу его во вращение Вы видите, что одну или две секунды он обнаруживает склонность вращаться около оси AA, но затем начинает сильно качаться, а через некоторое время, когда эти качания успокаиваются, вы видите, что он спокойно вращается около вертикальной оси BB. Но тогда начинается новый ряд быстро усиливающихся колебаний, а после их прекращения вы видите, что камень, наконец, пришел в состояние устойчивого вращения, стоя прямо на своей самой длинной оси. Это явление покажется удивительным всякому, кто убежден в том, что тело должно вращаться по тому направлению, в котором я его сначала завертел. Вы можете заметить, что почти всякий закругленный камень, будучи приведен во вращение, устанавливается подобным же образом на своей самой длинной оси, если только вращение достаточно сильно; совершенно таким же образом этот вращающийся волчок стремится стать все более и болеее вертикально.

Я уверен, что существует весьма мало математических объяснений явлений, которых нельзя было бы изложить обыкновенным языком людям, имеющим обычный запас знаний. В наибольшем числе случаев сначала кто-нибудь должен дать алгебраическое объяснение в символах, а затем приходит время для перевода его на обыкновенный язык. В этом состоит основа так называемого

технического обучения, которое предполагает, что рабочий может быть обучен законам, лежащим в основании операций его ремесла, если мы построим свои объяснения на опыте, уже приобретенном им, не утомляя его четырехлетним курсом обучения элементарным предметам; последнее годно лишь для неопытных детей и юношей в общественных школах и университетах.

При вашем настоящем опыте объяснение поднятия волчка становится до смешного простым. Если вы взгляните на второе правило этой стенной таблицы (стр. 63) и подумаете немного, то некоторые из вас будут в состоянии без всяких сложных математических соображений указать простое основание того, что Томсон объяснил мне 16 лет тому назад: „Ускорьте прецессию, и тело поднимется противоположно силе тяжести“. И вот, если я не касаюсь волчка, а тело поднимается, мы ищем то именно, что ускоряет прецессию, и естественно обращаем внимание на путь, который его острие описывает на столе, ибо за исключением атмосферы этот волчок не касается ничего, кроме стола. Наблюдайте внимательно, как прецессирует каждый из этих предметов. Черт. 32 показывает путь, по которому вращается волчок. Если смотреть сверху, то волчок вращается в направлении стрелок часов; а мы знаем из четвертого правила нашей стенной таблицы, или из простого наблюдения, что в таком случае он прецессирует также в направлении стрелок часов, т.-е.

его прецессия такова, как будто его острие в точке B проходит сквозь бумагу. Ибо вы можете заметить, что острие описывает на столе круговой путь; точка G почти неподвижна, а ось AGA описывает приблизительно конус в пространстве с вершиной в G над столом. Черт. 33 представляет нижний конец волчка в увеличенном виде, и очевидно, что точка B, касающаяся стола, подобна основанию колеса BB; и вращение этого колеса гонит его как бы сквозь бумагу по направлению от касательной. Но заметьте, что одна лишь прецессия также заставляет колесо катиться сквозь бумагу, вращение же волчка при достаточной скорости стремится гнать колесо скорее, чем это делает прецессия, так что вращение ускоряет прецесссию, и волчок поднимается. Вот простое объяснение: пока вращение волчка вокруг оси доволь-

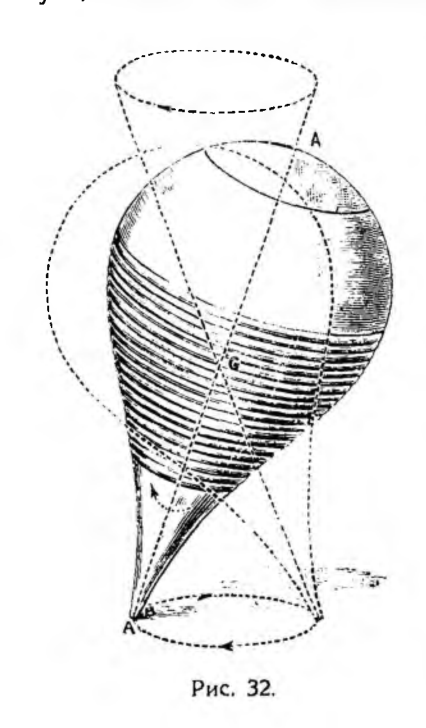


Рис. 32.

но велико, оно всегда ускоряет прецессию, и, если вы вспомните дни своей юности, когда волчок держался на вашей руке, как этот теперь на моей (черт. 34), и вращение становилось очень слабым и неспособным удержать волчок в вертикальном положении, вспомните, что вы ловко помогали прецессии, сообщая вашей руке вращательное движение, чтобы заставить ваш волчок вращаться стоя несколько дольше.

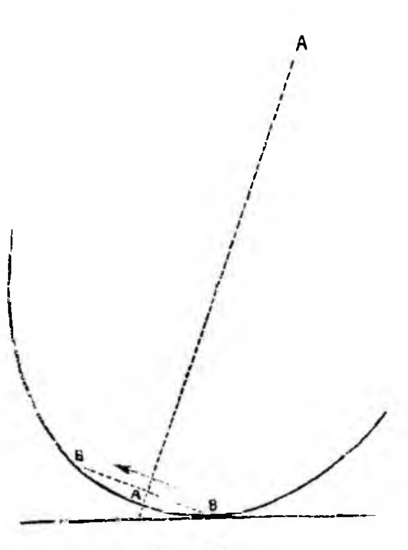


Рис. 33.

Теперь я даю вам возможность путем наблюдения и точно такого же рассуждения объяснить себе борьбу всякого закругленного, вращающегося на столе камня, за вертикальное положение своей длинной оси. Могу сообщить вам, что некоторые из этих больших закругленных предметов, которые я верчу перед вами для иллюстрации, сделаны из дерева или цинка с пустотою внутри, так как я не имею надлежащей ловкости для вращения больших твердых предметов, а, между тем,

мне нужны такие, которые были бы видны вам. Этот маленький предмет (черт. 31)—самое большое сплошное тело, которому мои пальцы еще способны сообщить достаточное вращение. Вот очень интересный предмет (черт. 35) сферической формы, но центр тяжести которого не совпадает с геометрическим центром, так что, когда я кладу его на стол, он всегда приходит в положение устойчивого равновесия, при чем белое пятно касается стола в точке A. Некоторые из вас знают, что, если подбросить это тело в воздухе, оно имеет очень странное движение; обыкновенно забывают, что только центр тяжести тела описывает простой путь, а в данном случае наружная поверхность тела эксцентрична с центром его тяжести. Если покатить шар по ковру, движения его также крайне интересны.

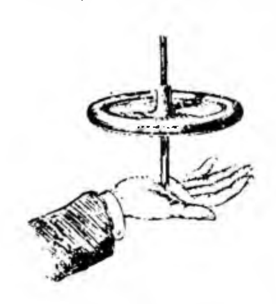


Рис. 34.

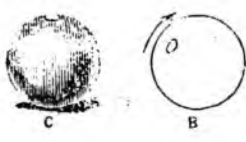




Рис. 35.

По указанным уже мною причинам, этот шар, приведенный во вращение на столе, стремится всегда стать белым пятном вверх, как на черт. 35 C, т.-е. принять положение, которое при отсутствии вращения было бы неустойчиво.

Прецессия волчка или гиростата сейчас же ведет нас к мысли о прецессии большого вращающегося тела, на котором мы живем. Вы знаете, что земля оборачивается на своей оси немного более одного раза в течение 24 часов, как этот апельсин, и что в течение года она обращается вокруг солнца один раз, как этот апельсин движется вокруг воображаемого солнца модели, или как показано на черт. 36. Ее ось вращения имеет направление очень близкое к звезде, называемой Полярной, почти бесконечно удаленной от нас. На чертеже и модели я сильно преувеличил эллиптический характер земной орбиты, как это принято, хотя это может немного вводить в заблуждение, так как земная орбита гораздо ближе к кругу, чем это обычно думают. Как известно, зимою земля приблизительно на три миллиона миль ближе к солнцу, чем летом. Это кажется парадоксальным на первый взгляд, но мы поймем это, если вспомним, что, вследствие наклона земной оси к эклиптике, мы, живущие в северном полушарии, видим зимою солнце менее вертикально над нами и имеем более короткий день, а потому каждый квадратный фут нашей части земной поверхности получает ежедневно гораздо меньше теплоты, и у нас холоднее. Но в течение 13000 лет земля благодаря прецессии повернется на половину своего оборота (см. черт. 38); тогда ось земли наклонится к солнцу, находясь к нему ближе всего, а не будет отклонена от него, как теперь; а потому у нас будет

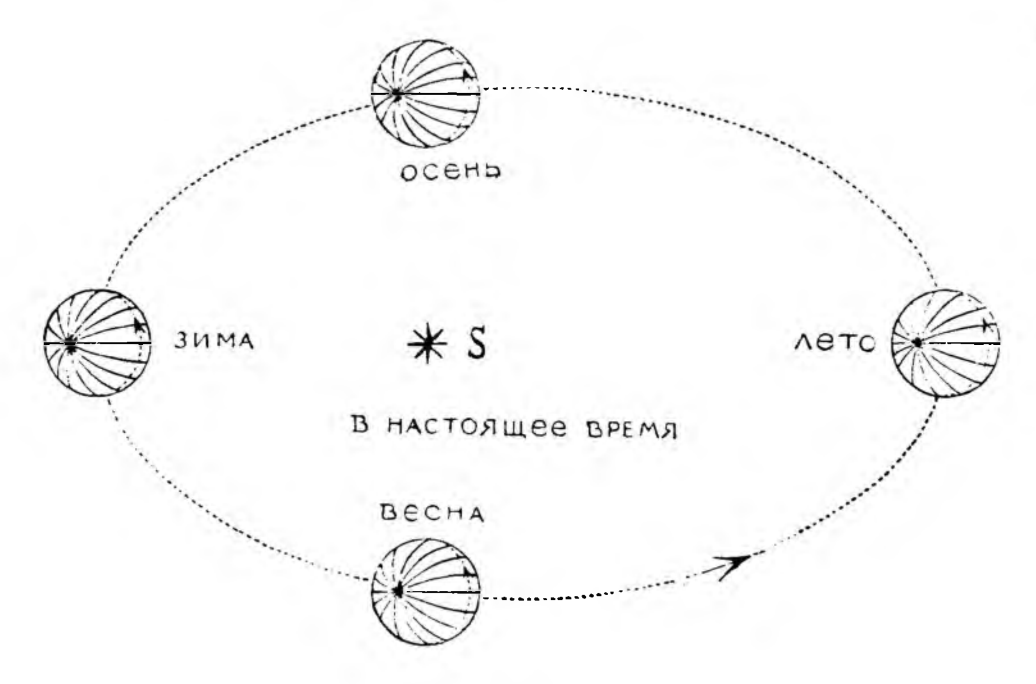


Рис. 36.

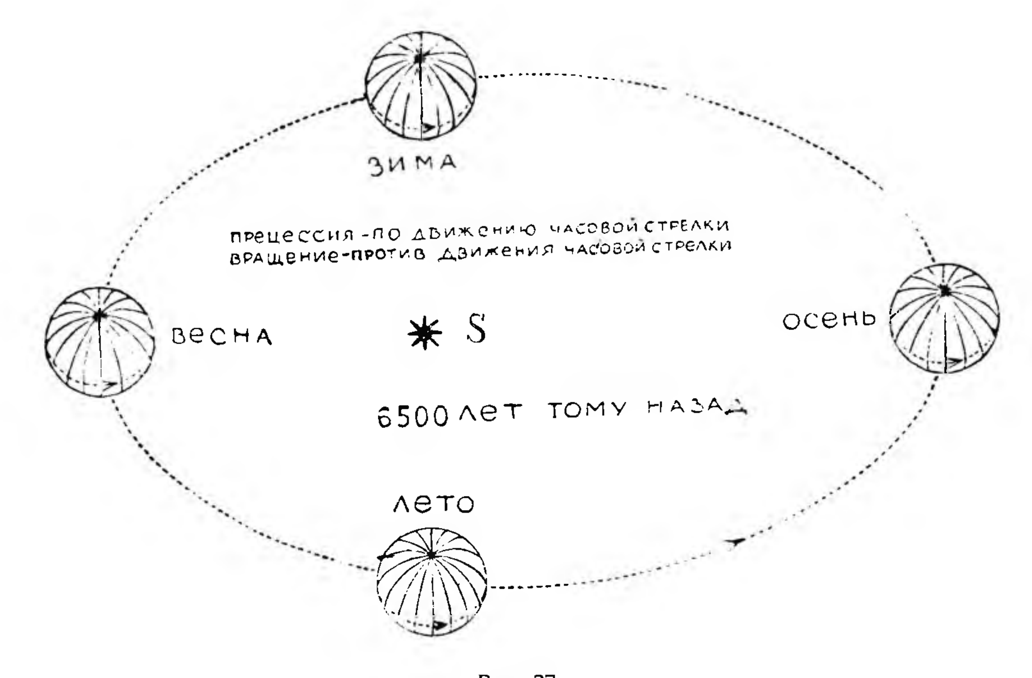

зима
прецессия - по движению часовой стрелки
вращение - против движения часовой стрелки
весна
S
осень
6500 лет тому назад
лето

Рис. 37.

летом теплее, а зимой холоднее, чем теперь. Без сомнения, мы будем тогда в гораздо худшем положении, чем ныне жители южного полушария, так как у них обилие воды в океане смягчает климат. Легко видеть характер этой перемены на черт. 36, 37 и 38 или на модели, если я обведу апельсин на вязальной спице, изображающей ось, вокруг солнца - модели. Вообразим наблюдателя над этой моделью далеко от северного полюса земли. Он видит землю, как она вращается против движения часовых стрелок, и находит, что вращение и прецессия происходят в противоположных направлениях. Именно отсюда у нас возникло слово „прецессия“, которое мы применяем к движению волчка, хотя прецессия волчка происходит в том же направлении, как и вращение.

Специалист по астрономии, объясняя лунно-солнечное предварение равноденствий, вероятно, не будет ссылаться на волчки или гиростат. Он скажет вам, что долгота и прямое восхождение светила, повидимому, изменяются, а именно точка эклиптики, от которой он делает свои измерения, т.-е. точка весеннего равноденствия медленно передвигается по эклиптике в направлении, противоположном движению земли по своей орбите или видимому движению солнца. Точка весеннего равноденствия служит ему для измерений на небесном своде, тем же, чем меридиан Гринвича — для моряка на море. Он скажет вам, что аберрация света и параллакс звезд, но еще более

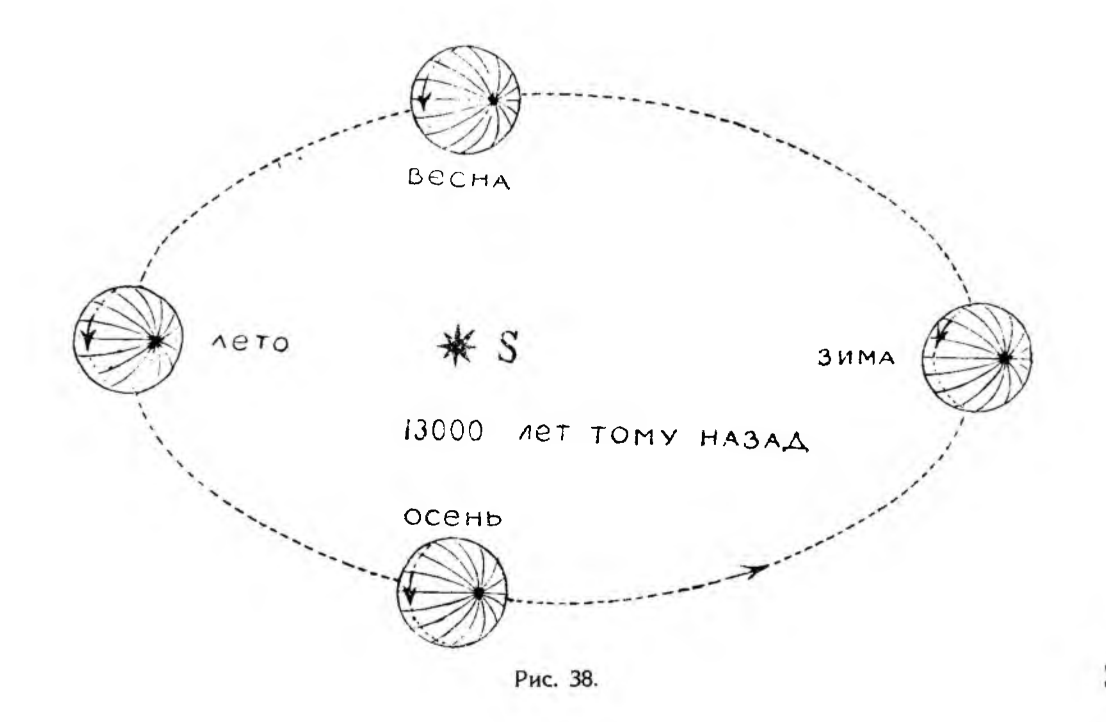


Рис. 38.

предварение равноденствий, суть три наиболее важные вещи, которые мешают нам видеть совершенную равномерность вращения земли, наблюдая в обсерватории прохождение светил. Но его способ описания прецессии не должен скрывать от вас того физического факта, что явления, наблюдаемые им и нами, тождественны, и что нам, знакомым уже с вращением волчков, более понятно медленное коническое движение оси вращения, нежели тонкости тех измерений, которыми связан ум астронома, и которые часто обрекают человека большой умственной силы на мелочную работу, которую мы обычно соединяем с мыслью о канцеляристе на жалованьи в один фунт в неделю.

Итак, прецессия земли—явление того же рода, как и прецессия гиростата, подвешенного выше своего центра тяжести, т.-е. тела, которое, в противоположность волчку, было бы в устойчивом равновесии, если бы даже не вращалось. Действительно, прецессия земли того же рода, как прецессия этого большого гиростата (черт. 22), подвешенного на кольцах так, что он колеблется, как маятник, при отсутствии вращения. Теперь я приведу его во вращение, так что, наблюдаемый сверху, он движется против стрелок часов, и вы видите, что он прецессирует по направлению часовых стрелок. А вот здесь еще деревянное суденышко в форме полушария, в котором находится гиростат с вертикальной осью.

Судно находится в состоянии устойчивого равновесия. Если гиростат не вращается, то судно, выведенное из равновесия, медленно качается из стороны в сторону. Если же гиростат вращается, то судно приобретает прецессионное движение в направлении, противоположном вращению гиро-

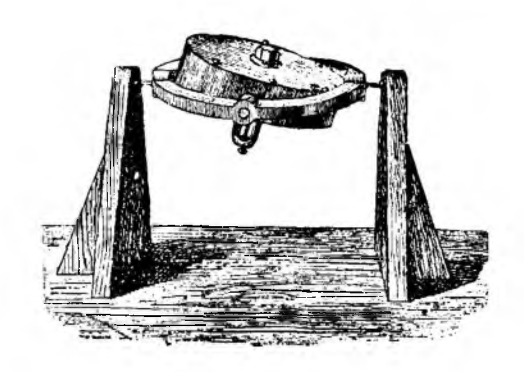


Рис. 22.

стата. Астрономы со времени Гиппарха производили для нас много наблюдений над движениями земли, а мы наблюдали движения гиростатов и потому ищем здесь объяснения прецессионного движения земли. Экватор земли образует с эклиптикой, т.-е. с плоскостью земной орбиты, угол в $23^1/_2°$. Таким образом, ось вращения земли находится всегда под углом в $23^1/_2°$ с перпендикуляром к эклиптике и совершает полный оборот в 26.000 лет. Поверхность воды, на которой плавает эта деревянная лодочка, представляет эклиптику.

Ось вращения гиростата составляет с вертикалом угол около $23^1/_2{}^\circ$; прецессия происходит в две минуты вместо 26.000 лет; только лодка не вращается по большому круговому пути, иначе в ее прецессии мы имели бы вполне точную иллюстрацию земной прецессии.

Прецессионное движение лодки или гиростата (черт. 22) мы объяснить умеем; таким же образом объяснится и земная прецессия, если мы найдем силы, исходящие от посторонних тел и стремящиеся установить ось вращения земли под прямыми углами к эклиптике. Земля представляет приблизительно шарообразное тело. Если бы она была вполне шарообразна и однородна, то равнодействующая сила притяжения, исходящая от далекого тела, проходила бы прямо через ее центр. То же было бы, если бы она была шарообразна, но не была однородна, а масса ее состояла бы из сферических слоев одинаковой плотности подобно шелухе луковицы. Но земля не шарообразна, и, чтобы понять природу притяжения далекого тела, необходимы были наблюдения над маятником на всей земной поверхности. Вы знаете, что, наблюдая время колебания маятника неизменной длины в разных местах, можно определить силу тяжести в каждом месте. А Грин доказал, что, зная только силу тяжести во всех местах земной поверхности и даже ничего не зная о внутренности земли, можно с абсолютной точностью вычислить силу, с которой земля действует на материю, помещенную где-либо

вне земли; например, во всякой части лунной орбиты или на солнце. Отсюда можно определить силу равную и противоположную той, с которой такая материя будет действовать на землю. Наблюдения над маятником были произведены во многих местах земли, и мы знаем, хотя и не с абсолютной точностью, притяжение, оказываемое на землю внешними массами. Например, мы знаем, что равнодействующая сил притяжения земли солнцем есть сила, не проходящая через центр земной массы. Вы поймете это лучше, если я сошлюсь на рисунок, изображающий землю в середине зимы (ч. 39),

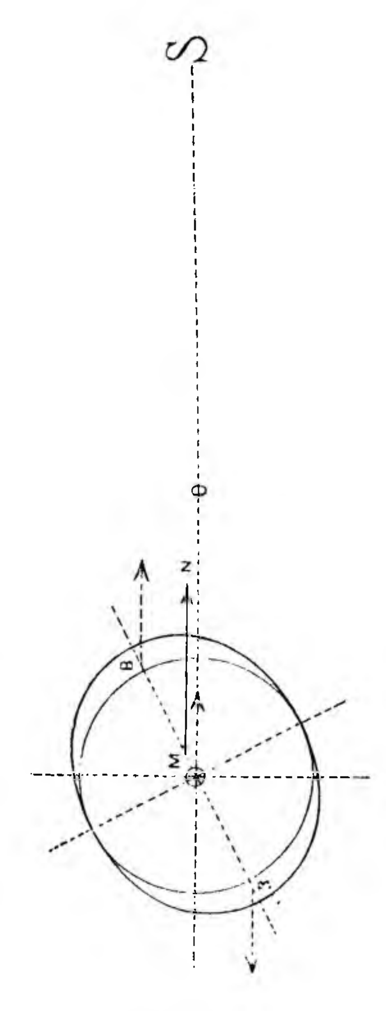


Рис. 39.

и воспользуюсь популярным методом изложени Назовем А и В выступающие части земли, т. выдающийся пояс земли, который придает ей форм апельсина вместо шара. На сферической внутре ней части, которую можно считать однородно равнодействующее притяжение проходит чер центр.

Теперь я буду исследовать притяжение высту пающего экваториального пояса, обозначенно через А и В. Солнце притягивает фунт материи в В сильнее, чем в А, так как В ближе А, и потому общая равнодействующая сила в направлении MN не совпадает с линией OO, проходящей через центр земной массы. Но мы знаем, что сила в напра влении MN эквивалентна силе OO, параллельной MN, вместе с отклоняющей парой сил, стремя щейся повернуть край экватора к солнцу. Вы полу чите верное представление о возмущающем дей ствии пары, вообразив землю неподвижной, а массу солнца распределенной в виде кругового кольца материи с диаметром в 184 миллиона миль, кольца наклоненного к экватору земли под углом в $23^{1}/_{2}$°. Под влиянием притяжения этого кольца земля должна была бы качаться, подобно большому ко раблю на тихом море, который колеблется очень медленно, совершая в три года одно полное коле бание. Но земля вращается, и возмущающая пара действует на нее точно так же, как силы, стремя щиеся привести эту модель корабля в вертикальное положение; поэтому земля имеет прецессионное

движение, полный период которого составляет 26.000 лет. Если здесь, на корабле, нет вращения, то полное колебание его происходит в три секунды; а если я приведу во вращение гиростат, находящийся на корабле, то полный период его прецессии составит две минуты. В обоих случаях действие вращения выразится в превращении колебания в гораздо более медленную прецессию.

Однако, между землей и гиростатом большая разница. Силы, действующие на волчок, всегда одни и те же, но силы, действующие на землю, постоянно изменяются. В середине зимы и лета силы имеют наибольшую величину, а в периоды равноденствия, весною и осенью, эти силы совершенно отсутствуют. Таким образом, прецессионное движение изменяет свою скорость каждую четверть года от максимума до нуля и от нуля до максимума. Но это совершается всегда в одном и том же направлении, обратном вращению земли вокруг оси. Поэтому, говоря о прецессионном движении земли, мы обыкновенно думаем о среднем движении, так как движение бывает то быстрее, то медленнее каждую четверть года.

Далее, луна также оказывает свое действие подобно солнцу. Она стремится направить экваториальную часть земли в плоскость лунной орбиты. Последняя почти совпадает с плоскостью эклиптики, а потому средняя прецессия земли совершенно такого же рода, как если бы действовало одно из двух небесных тел, луна или солнце. Та-

ким образом, общее явление прецессии земной оси по конической поверхности в течение 26.000 лет представляет результат сочетания возмущающих действий солнца и луны.

Здесь вы можете видеть пример своего рода неточности, которая почти необходимо проникает в объяснения явлений природы. До сих пор я говорил только о солнце, как вызывающем прецессию земли. Это было позволительно, так как плоскость эклиптики всегда образует почти точно $23^1/_2°$ с земным экватором, и, хотя в общем действие луны тождественно с действием солнца и почти вдвое сильнее, но оно в значительно большей степени подвержено изменениям. Большое возмущающее действие луны, точно так же, как и возникновение приливов и отливов, объясняется большей близостью ее к нам сравнительно с солнцем и проявляется, несмотря на ее малую, сравнительно с солнцем, массу.

Так как эклиптика образует угол в $23^1/_2°$ с земным экватором, а лунная орбита наклонена к эклиптике под углом в $5^1/_2°$, то лунная орбита иногда образует с земным экватором угол в 29°, а иногда только 18°, изменяясь от 29° до 18° и обратно в течение приблизительно 19 лет. Это вызывает так называемую „нутацию“ или качание земли, так как от него сильно зависит и видоизменяется отклоняющее действие солнца на земную ось. Результат изменчивой природы действия луны состоит в том, что земная ось вращается по эллиптической

конической поверхности вокруг того, что можно назвать ее средним положением. Мы должны также помнить, что отклоняющее действие луны на землю бывает в течение каждого лунного месяца дважды усиливающимся и дважды равно нулю; и оно постоянно изменяет свою величину.

В общем луна и солнце и, в небольшой степени, планеты вызывают общее явление прецессии, которая повторяется в той же последовательности приблизительно в течение 25.695 лет. Она не вполне равномерна, совершаясь со скоростью, максимум которой бывает летом и зимой; таким образом, скорость изменяется в период полугода. Но есть еще изменение скорости, период которого составляет половину лунного месяца, так что в эту ночь прецессия происходит скорее, чем она будет происходить в ближайшую субботу; тогда скорость станет возрастать в течение еще одной недели и снова будет уменьшаться в течение следующей недели. Кроме того, в виду того, что орбиты луны и солнца образуют угол в $5^1/_2{}^\circ$, мы имеем нечто подобное качанию нашего прецессирующего гиростата, и наклон земной оси к эклиптике не равен постоянно $23^1/_2{}^\circ$, но изменяется в течение периода девятнадцати лет. Предполагая центр земли неподвижным в точке О, мы видим, что ось земли, как это изображено на модели черт. 40, описывает почти правильный круг на небесной сфере один раз в 25.866 лет, при чем скорость ее колеблется каждые полгода и полмесяца. Но это не абсо-

лютно точный круг; на самом деле это волнистая линия с более крупными волнами, соответствующими периоду в 19 лет, и более мелкими складками, соответствующими полугодовым и двухнедельным периодам. Истинная причина нутации, девятнадцатилетний период отступления лунных

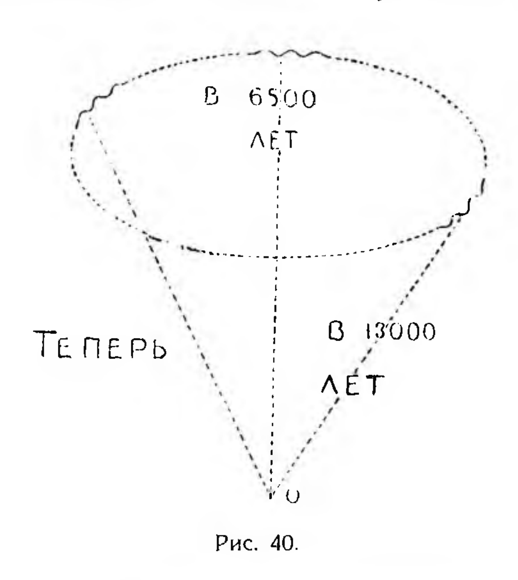


Рис. 40.

узлов, сама вызывается, как и прецессия гиростата, отклоняющими силами, действующими на вращающееся тело.

Вообразите землю неподвижной, а солнце и луну вращающимися около нее. Гаусс нашел, что в таком случае действие их таково же, как если бы массы луны и солнца были распределены во-

круг их орбит. Например, вообразите, что масса луны распределена вдоль ее орбиты в виде твердого кольца с диаметром в 48.000 миль; притом меньшая часть массы находится там, где скорость больше, так что кольцо толще в апогее луны и тоньше в перигее. Такое кольцо вокруг земли было бы подобно кольцам Сатурна, которые также имеют прецессию узлов; но кольца Сатурна не тверды, иначе здесь не было бы равновесия [1]). Теперь оставим землю и вообразим одно лишь кольцо само по себе, так что его центр совершает движение вокруг солнца в один год. Тогда это кольцо, образуя угол в $5\frac{1}{2}^0$ с плоскостью эклиптики, будет колебаться на эклиптике, пока не отклонится на тот же угол по другую сторону и не возвратится в прежнее положение. Но оно оборачивается около своего центра один раз в 27 солнечных дней и 8 часов, а потому оно уже не будет качаться, подобно судну на мели, но получит движение прецессии в направлении, противоположном его собственному вращению. Так как движение кольца, если смотреть на эклиптику с севера, противоположно движению часовых стрелок, то отступление лунных узлов происходит в направлении часовых стрелок. Это совершенно такое же явление, как прецессия равноденствий, только

---

[1]) Но и не жидки, а состоят из огромного числа отдельных телец, вращающихся вокруг Сатурна подобно планетам. (Прим. ред.)

с гораздо меньшим периодом—в 6.798 суток вместо 25.866 лет.

Я сказал вам, что если бы мы знали массу луны или солнца, то мы могли бы определить величину сил или, вернее говоря, момент вращения, который стремится отклонить ось земли. Мы знаем скорость, с которою вращается земля, и мы наблюдаем ее прецессию. Следуя методу, который я уже очертил, мы найдем, что скорость прецессии вращающегося тела должна равняться моменту вращения, деленному на скорость вращения и на момент инерции [1]) тела относительно его оси вращения. Поэтому, чем больше отклоняющие силы, и чем меньше скорость вращения и момент инерции тела, тем больше скорость прецессии. Если даны все эти элементы, кроме одного, то легко вычислить этот неизвестный элемент. Обыкновенно при вычислениях такого рода мы стремимся определить массу луны, так как явление прецессии и действие приливов—единственные явления природы, которые до сих пор дают нам возможность вычислить массу луны.

Я не намерен оправдываться перед вами за введение таких терминов, как „момент инерции", или объяснять их. В этой лекции я избегал, на-

---

[1]) Приблизительно инерция или масса тела обозначает его сопротивление изменению простого поступательного движения, а момент инерции тела обозначает его сопротивление изменению вращательного движения.

сколько мог, введения математических выражений и употребления технических терминов. Я желал бы однако объяснить вам, почему я все же не боюсь вводить технические термины в популярную лекцию. Если в подобном решении есть какое-либо неудобство, то, по моему мнению, я сильно увеличу его объяснением точного значения таких терминов. Пользование правильным техническим термином ведет к достижению различных полезных целей. Во-первых, оно дает лектору некоторое удовлетворение, позволяя ему сделать рассуждение более точным и, таким образом, в известной мере удовлеторить естественное, хотя и слабое стремление дать полное изложение, которым он, к счастью, не имеет времени утомлять своих слушателей. Во-вторых, пользование такими терминами исправляет всеобщую уверенность популярных аудиторий, будто они теперь узнали все, что можно сказать о предмете. В-третьих, оно убеждает всякого, включая и лектора, что при допущении некоторых скачков в изложении нового предмета ничего не теряется, а часто много выигрывается.

Несколько лет тому назад утверждали, что если бы земля была скорлупой, наполненной жидкостью, и эта жидкость не испытывала бы никакого трения, то при изучении прецессии земли мы должны бы были принять в расчет только момент инерции оболочки, а при вязкости оболочки прецессия скоро прекратилась бы вовсе. Чтобы дей-

ствие момента инерции сделать наглядным, я повесил здесь несколько стаканов: один — a, наполненный песком, другой—b—сиропом, третий—c—маслом, четвертый—d—водой, а пятый—e—пустой (черт. 41). Вы видите, что, если я закручу поддерживающие их проволоки и отпущу их, то начнется колебательное движение, совершенно подобное качанию маятника карманных часов. Заметьте, что стакан с водой качается быстро, так как здесь действует только момент инерции самого стакана, и время колебания почти то же, что и в случае пустого, т.-е. вода, повидимому, не движется вместе со стаканом. Заметьте также, что колебание стакана происходит весьма долгое время.

Стакан с песком качается медленно; здесь большой момент инерции, так как песок и стакан ведут себя, как одно твердое тело; качание опять-таки продолжается очень долго.

Но в стакане с маслом и сиропом периоды колебаний более продолжительны, чем в случае стакана с водой или пустого, но меньше, чем они были бы при совершенно твердых колеблющихся телах, колебания же прекращаются скорее вследствие трения.

Подвешенные на проволоках вареное яйцо F и невареное g обнаруживают ту же разницу в свойствах тел, из которых одно внутри твердое, а другое жидкое; вы видите, насколько колебания вареного яйца медленнее, чем невареного.

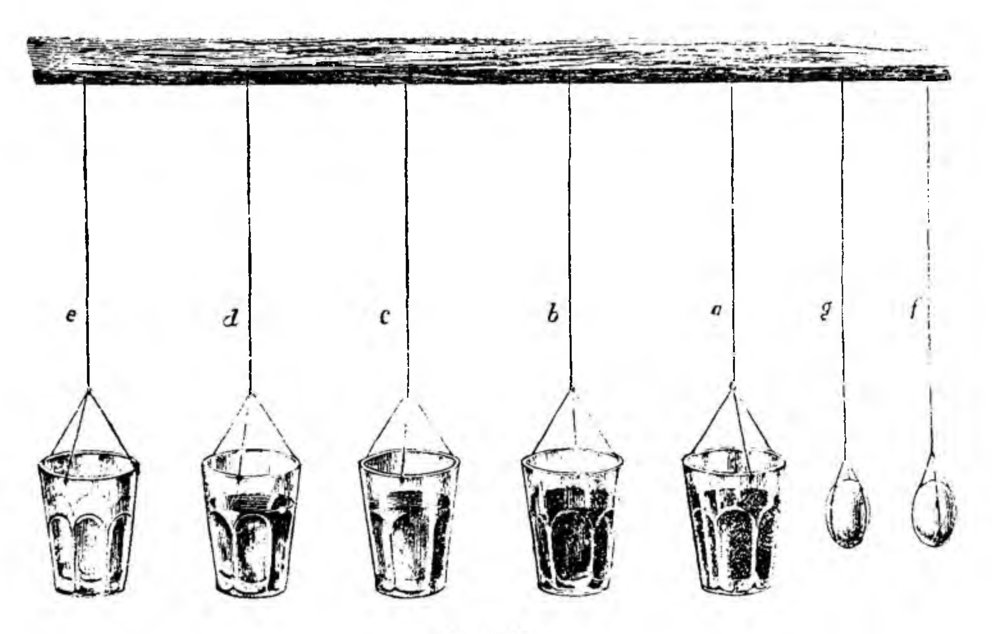


Рис. 41.

Даже здесь на столе легко показать разницу между вареным и невареным яйцом. Закрутите их оба; вы увидите, что одно из них останавливается гораздо раньше другого; именно невареное останавливается раньше по причине внутреннего трения.

Прошу вас обратить особенное внимание на следующий отличительный признак вареного яйца от невареного. Я закручиваю яйцо и вращаю его, а затем придерживаю его пальцем на одно мгновение, как раз так, чтобы остановить движение скорлупы. Вы видите, что вареное яйцо совсем прекратило свое движение, а у невареного остановилось только движение скорлупы; жидкая же внутренность продолжает двигаться и даже возобновляет движение скорлупы, когда я удаляю свой палец.

Отсюда утверждали, что если бы земля была жидкой внутри, то ее прецессия должна бы была быть гораздо быстрее, чем она на самом деле, так как действующий здесь момент инерции оболочки сравнительно невелик и, как мы видим на этих примерах, не имеет никакой связи с моментом инерции жидкости. Это и приводилось в доказательство против предположения о жидкой внутренности земли.

Мы знаем, что наблюдаемые нами полугодовые и полумесячные изменения земной прецессии были бы гораздо больше, чем на самом деле, если бы земля была твердой оболочкой, содержащей мно-

го жидкости; и, если бы эта оболочка не была бесконечно тверда, не было бы и явлений прилива и отлива; но по отношению к общей прецессии земли нет никакого сомнения, что прежний ход доказательств неверен. Если бы даже земля была жидкой внутри, то она вращается так быстро, что по отношению к такому медленному движению, как предварение равноденствий, она

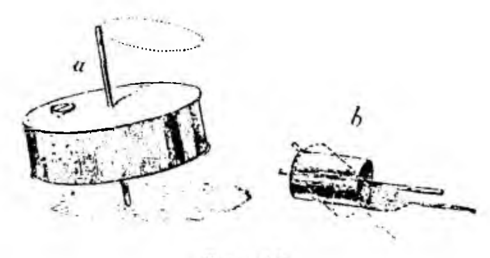


Рис. 42.

вела бы себя, как твердое тело. Действительно, в прежнем ходе доказательств был упущен из вида важный факт, что быстрое вращение может сообщить даже жидким телам видимую твердость. Вот полый медный волчок, наполненный водой (черт. 42*a*). Оболочка легкая, а вода внутри имеет гораздо большую массу, чем внешняя оболочка. Если вы внимательно рассмотрите этот волчок, то заметите, что он вращается почти совершенно так же, как если бы вода была твердым телом, т.-е. весь волчок был бы твердым. Вы видите, что он вращается и прецессирует точно так же, как твер-

дый волчок. Я знаю, что этот волчок не вполне, а только частью наполнен водою; но наполнен ли он частью или вполне, он вращается совершенно подобно твердому волчку.

Но дело обстоит уже не так с длинным полым волчком, наполненным водою. Я говорю вам, что все тела имеют одну ось, около которой они предпочитают вращаться. Внешняя металлическая часть волчка проявляет хорошо известные вам свойства: трение его острия о поверхность стола заставляет его подыматься на своей длинной оси. Но жидкость внутри волчка ничем не принуждена вращаться на длинной оси, а так как она предпочитает свою короткую ось, подобно всем показанным мною телам такого рода, то она вращается особенным образом. Трением и давлением на оболочку она заставляет ее вращаться около короткой оси, вполне уничтожая стремление внешней части подняться или держаться на своей длинной оси. Таким образом, найдено, что длинный полый волчок, наполненный водою, вовсе не может вращаться.

Вот, например, волчок (черт. 42*b*), который отличается от прежнего своей большой длиною. Он наполнен вполне или отчасти водою; вставив его в эту раму, я постепенно привожу его в быстрое вращение: но, если я выпущу его на стол подобно прежде показанному волчку, он сразу падает и отказывается вращаться на своем острие. Это различие свойств наиболее замечательно в

двух полых волчках, которые вы видите перед собою (черт. 43).

Оба они почти шарообразны, оба наполнены водою. Они кажутся так похожи, что немногие слушатели могли бы открыть некоторое различие в их форме. Но один из них *a* немного сплющен подобно апельсину, а другой *b* слегка вытянут подобно лимону. Я сообщу им обоим в этой раме

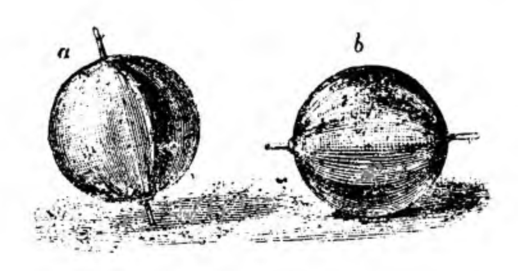


Рис. 43.

постепенно возрастающее вращение (черт. 44) в течение времени, достаточного для приведения во вращение также и воды внутри них. Выпущенные на свободу, чтобы двигаться по столу подобно обыкновенным волчкам, вода и бронза движутся, как части одного твердого тела. Вы видите, что волчок в форме апельсина продолжает вращаться и прецессировать, а, получив толчок, поднимается, как обыкновенный твердый волчок: я даже редко видал более удачный волчок; между тем, волчок в форме лимона сразу падает на бок и быстро перестает вовсе двигаться.

Теперь вы будете в состоянии оценить четвертый признак вареного яйца, который гораздо легче показать большой аудитории, чем прежний. Вот невареное яйцо (черт. 45 *b*). Я всеми силами стараюсь вращать его, пока оно лежит на столе, но вы видите, что я не могу сообщить ему сильного вращения, так что здесь нельзя увидеть ничего особенного. Но вы замечаете, что очень легко вращать вареное яйцо, и по причинам, теперь хорошо вам известным, оно ведет себя подобно камням, которые Томсон вращал на взморьи: оно поднимается на своей длинной оси, представляя приятный предмет наблюдения для нашего изощренного теперь глаза (черт. 45 *a*). Все вы знаете по поведению волчка в форме лимона, что если бы с помощью вертящегося и внезапно остановленого стола или каким-либо иным способом вызвать вращение этого невареного яйца, то оно никогда не показало бы ни

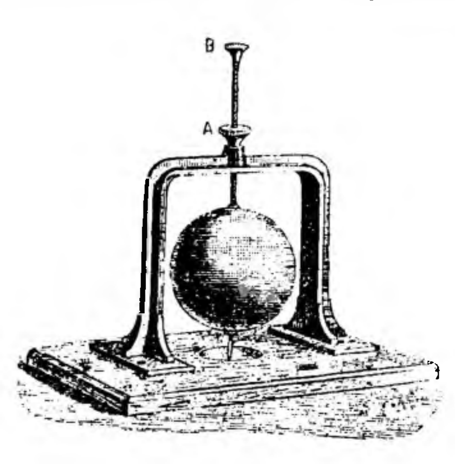


Рис. 44.

малейшего стремления стать на острый конец и вращаться около своей длинной оси.

Надеюсь, что вы не думаете, что я слишком долго говорю об астрономических вопросах, так как еще одно важное обстоятельство, связанное с астрономией, подлежит моему обсуждению. Вы видите, что мне собственно нет никакого дела до астрономии, а потому я и питаю живой интерес к этому предмету. Замечательно, но совершенно верно то, что люди, практически занятые каким - либо делом, почти неспособны видеть его поэтическую сторону. Это видит обладающий воображением посторонний человек. Но обремененный работой астроном имеет другую точку зрения. Как только дело становится обязательным и входит в ежедневную работу, дело теряет большую часть своего интереса. Мы слышали от известного американского философа, что настоящими кучерами, понимающими поэзию управления экипажем, являются титулованные особы, которые ныне платят так щедро за это удовольствие. Почти во всякой области инженерного дела вы найдете изобретения, обычно созданные посторонними делу

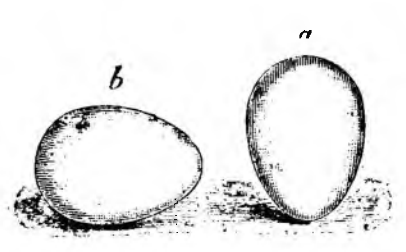


Рис. 45.

людьми, которые приступают к изучению предмета со свежей головой Кто слышал когда-нибудь, чтобы человек, долго живущий в Японии или Перу, написал интересную книгу об этих странах? После двухлетнего пребывания в стране он видит, путешествуя, только самые обычные вещи и чувствует непобедимое презрение к остроумному туристу, который пишет книгу о стране после месячного странствования по самым избитым дорогам. Точно так же опытный астроном забыл о затруднениях своих предшественников и сомнениях профанов. Уже много времени прошло с тех пор, когда он испытывал тот ужас при наблюдении звездного неба, который испытываем мы, профаны, узнав размеры и расстояния отдельных членов небесного воинства. Он говорит вполне хладнокровно о миллионах лет и почти равнодушен, упоминая о древней истории человечества на нашей планете, как привыкший к непогоде геолог. Причина этого очевидна. Большинство из вас знают, что „Nautical Almanach" (морской календарь), как литературное произведение,—одно из самых неинтересных справочных изданий на свете. Он даже бессвязнее словаря, и я думаю, что составление налоговых и избирательных списков должно быть более поэтическим занятием, чем составление таблиц „Nautical Almanach". И все-таки одна только цифра из миллионов, записанных переутомленным вычислителем, может иметь трагическое значение для жизни и смерти команды

и пассажиров судна, которое по указанию одной только напечатанной буквы находит безопасность в гавани или же гибнет на подводных скалах.

Но, может быть, это неуместный вид критики. Я так редко имею дело с астрономическими вопросами, я так мало знаком с неприятностями и однообразием ежедневной жизни астронома, что даже не уверен, справедливы ли указанные факты именно по отношению к астрономам. Я знаю лишь, что они очень близки к истине, так как они верны для людей других профессий.

Я счастлив сказать, что прихожу в соприкосновение с людьми всякого рода и профессий и, между прочим, с некоторыми лицами, отрицающими многие вещи, излагаемые в наших первоначальных учебниках, например, то, что земля кругла, или что она вращается, или что французы говорят на языке, отличном от нашего. Но ни один человек, бывший в море, ни станет отрицать круглой формы земли, как бы он ни удивлялся этому; и никто из бывших во Франции не станет оспаривать различия французского языка от нашего; но многие, узнавши в школе о вращении земли и имея множество случаев наблюдать небесные тела, отрицают вращение земли. Они говорят вам, что звезды и луна обращаются вокруг земли, так как они видят их обращение из ночи в ночь, и будто солнце обращается вокруг земли, ибо видят это каждый день. Действительно, если подумать об этом, то не так легко доказать вра-

щение земли. С помощью хороших телескопов и электрического телеграфа или хорошего хронометра легко показать, что, в виду отсутствия параллакса звезд, они должны быть очень удалены от нас; но после всего этого мы знаем только, что или земля вращается, или же небесный свод[1]). Нет сомнения, бесконечно вероятнее утверждать, что вращается небольшая земля, чем весь небесный свод наделять вращением вокруг земли как центра; а бесконечная вероятность равносильна абсолютному доказательству. Но нет никого, кто не желал бы непосредственного доказательства. Явления приливов и почти всякий новый успех в астрономии могут считаться дополнительным доказательством. Все-таки здесь есть недостаток совершенной уверенности, и если нам скажут, что эти явления вращающегося волчка дают нам реальное доказательство вращения земли, не требуя выхода из комнаты, то мы приветствуем это, хотя, овладев этим доказательством, мы будем смеяться над ним, как излишним.

Вы знаете, что гиростат, подвешенный с полной свободой около осей, проходящих через его центр тяжести, сохраняет постоянное направление в пространстве, как бы его подставка ни передви-

---

[1]) Очень невероятна и, конечно, нелепа гипотеза, что звезды -простые изображения нашего солнца, отражающегося от границ эфира, но, повидимому, она не противоречит ни одному факту спектрального анализа и даже ни одной вероятной теории строения межзвездного эфира.

галась. Его ось нельзя заставить изменить свое направление никоим образом. Но этот гиростат (черт. 17) не обладает совершенным отсутствием трения на осях, о котором я говорю, а даже малейшее трение производит известное воздействие, неблагоприятное для опыта, который я хочу описать. Следует помнить, что если бы здесь не было абсолютно никакого трения, то даже при отсутствии вращения ось гиростата сохраняла бы постоянное направление в пространстве. Но вращающийся гиростат представляет то преимущество, что действие трения менее сильно влияет на положение его оси. Чем сильнее вращение, тем больше права мы имеем пренебречь действием трения. Вы сами видели результат передвижения этого гиростата всевозможными способами: во-первых, когда он не вращается, и трение вызывает большое отклонение от постоянного направления оси; во-вторых, когда он вращается, вы видите, что хотя здесь прежнее трение, и я стараюсь передвигать прибор больше прежнего, однако, ось его



Рис. 17.

остается все время параллельной самой себе. Когда же этот прибор стоит на столе, он, конечно, передвигается землей в ее ежедневном вращении. Если бы ось вполне сохраняла свое направление и сейчас указывала горизонтально на восток, то через 6 часов она была бы обращена к северу, притом наклонена вниз; еще через 6 часов она была бы направлена на запад горизонтально, а после полного оборота земли она бы указывала снова ту же сторону, как теперь. Представьте себе, что я делаю опыт и вижу, что ось прибора сейчас направлена в этой комнате на восток, а через некоторое время она обращается на запад, однако, я знаю, что гиростат все время направлен в ту же сторону пространства: очевидно, комната должна поворачиваться в пространстве. Предположите, что ось направлена сейчас к Полярной звезде, тогда через 6, 12, 18, или 24 часа она все будет указывать на Полярную звезду.

Однако, не легко устроить такой гиростат без трения, чтобы он сохранил быстрое вращение в течение времени, достаточного для иллюстрации вращения комнаты перед аудиторией. Но я опишу вам, как 40 лет тому назад в одной лаборатории было доказано, что земля вращается на своей оси. Этот опыт связан с именем Фуко, того ученого, который вместе с Физо показал, как мы можем в лаборатории измерить скорость света, а отсюда измерить расстояние солнца от нас. Этот опыт был указан Лангом в Эдинбурге в 1836 г.,

но произведен только в 1852 году Фуко. При помощи этого опыта, если бы вы находились в теле, из которого вы не могли бы видеть ни звезд, ни каких-либо иных внешних предметов, например, живя в подземных областях,—вы могли бы открыть, во-первых, есть ли здесь вращательное движение, и какова его скорость; во-вторых, вы могли бы определить полуденную линию или истинное направление к северу; в-третьих, узнать широту места. Возьмем гиростат, подобный этому (черт. 46), но гораздо больший и подвешенный с гораздо меньшим трением так, чтобы он мог двигаться вертикально или горизонтально. Для вертикального движения стержнями колец должны быть лезвия ножей из твердой стали. Для горизонтального движения Фуко пользовался тонкой стальной проволокой. Пусть на внешнем его круге вырезана точная шкала; и попробуем узнать с помощью микроскопа с перекрестными нитями, движется ли он горизонтально. Тщательно сделав это, мы найдем, что движение происходит, но это движение не гиростата, а микроскопа. В самом деле, микроскоп и все другие предметы в комнате движутся вокруг рамы гиростата.

Теперь рассмотрим, что происходит. Комната вращается вокруг земной оси, и мы знаем скорость этого вращения; но для нашей намеченной цели нужно только знать, какая часть целого вращения совершается вокруг вертикальной линии в комнате. Если бы комната находилась на север-

ном полюсе, то вокруг вертикальной линии совершился бы полный оборот земли. Если бы комната находилась на экваторе, то около вертикальной линии не происходило бы вовсе никакого вращения. Под нашей же широтой горизонтальная скорость вращения около вертикальной оси составляет около четырех пятых целой скорости вращения земли около ее оси; эту величину мы и можем измерить нашим микроскопом. Этот опыт не дал бы никакого результата в каком-либо месте на экваторе, а под нашей широтой вы в лаборатории можете иметь доказательство вращения земли. Фуко произвел измерения с абсолютной точностью.

Если укрепить раму гиростата так, чтобы ее ось могла вращаться только в горизонтальной плоскости, то движение, которое земля стремится сообщить ему вокруг вертикальной оси, не может влиять на гиростат, но земля заставляет его двигаться около оси, направленной с севера на юг, а потому его вращающяся ось стремится стать параллельно направлению с севера на юг (черт. 46). Поэтому с помощью такого инструмента легко найти истинный меридиан. Если бы не было абсолютно никакого трения, то инструмент колебался бы около истинного меридиана подобно стрелке компаса (черт. 50), хотя крайне медленно.

С чувством смущения и удивления человек узнает впервые о том, что все вращающиеся тела, например, маховые колеса паровых машин и тому

подобные, все стремятся повернуть свои оси по направлению к Полярной звезде; бессильно и тщетно рвутся они на своих подставках к объекту своих стремлений все время, пока движутся.

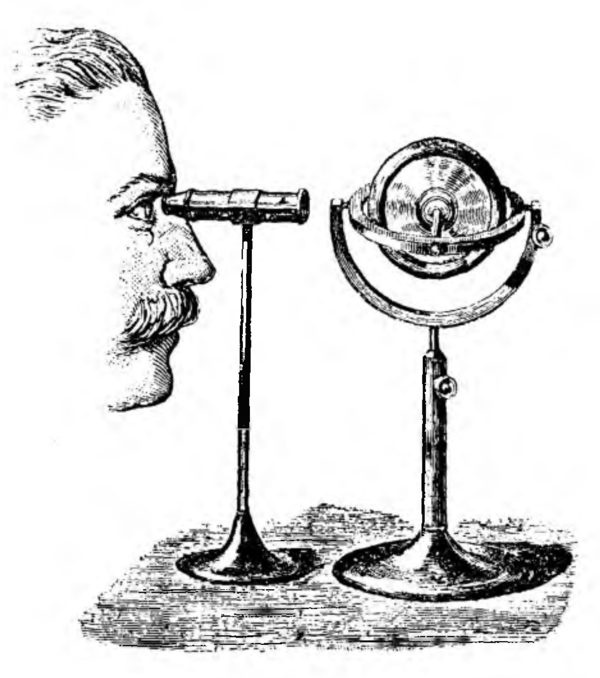


Рис. 46.

Найдя меридиан (черт. 47), мы можем начать третий опыт. Задержим горизонтальное движение, т.-е. движение вокруг вертикальной оси, но дадим прибору возможность двигаться вертикально в пло-

скости меридиана вокруг горизонтальной оси, подобно пассажному инструменту в обсерватории. Его вращение вместе с землей будет стремиться изменить его наклонение, и потому он располагается параллельно земной оси. Тогда суточное вращение не вызывает более никакого изменения его положения в пространстве, а потому он продолжает указывать на Полярную звезду (черт. 48). Можно сделать интересный опыт, измеряя точными химическими весами силу, с которой ось гиростата подымается, и таким путем взвесить вращательное движение земли [1]).

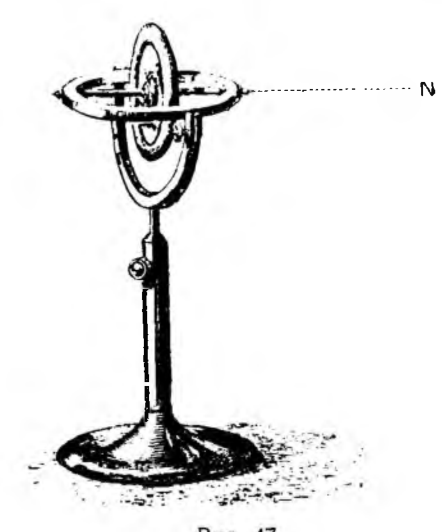


Рис. 47.

Теперь повернем стойку прибора GB на прямой угол так, чтобы вращательная ось могла двигаться только в плоскости под прямым углом к меридиану; тогда прибор будет, очевидно, под дей-

---

1) Сэр Вильям Томсон произвел это измерение.

ствием только вертикальной слагающей вращения земли, и ось направится вертикально вниз.

Это последнее явление, как и другие, о которых я говорил, внушают много мыслей. Вот магнитная стрелка (черт. 49), иногда называемая стрелкой наклонения вследствие способа, которым она подвешена. Если я поверну ее подставку так,

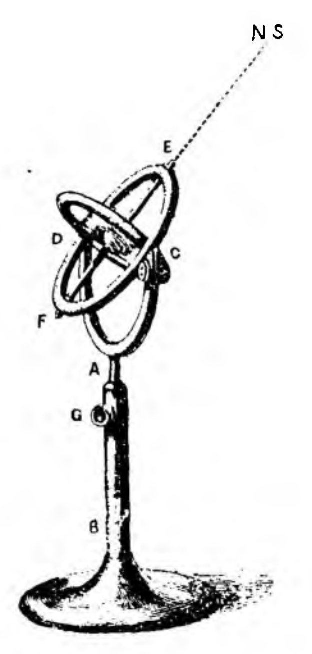


Рис. 48.

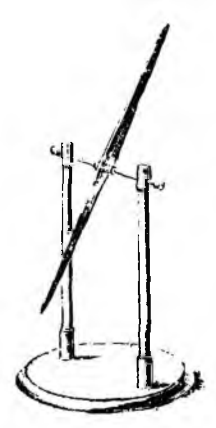


Рис. 49

чтобы она могла двигаться только под прямыми углами к меридиану, то вы видите, что она устанавливается вертикально.

Нельзя не подумать здесь о сходстве магнитной иглы (черт. 50) и гиростата (черт. 47): оба

они показывают на север, как только имеют возможность двигаться горизонтально; и вы видите, что свободный от трения гиростат может служить компасом или, во всяком случае, средством проверки компаса [1]). Указывая вам на аналогии, я желал бы обратить ваше внимание на то, что хотя это только аналогии, но далеко не случайные аналогии, ибо, несомненно, существует динамическая связь между магнитными и гиростатическими явлениями. Магнетизм зависит от вращательного движения [2]). Молекулы материи действительно находятся во вращении, и известное расположение осей вращения вызывает то, что мы называем магнетизмом. В ненамагниченном стальном стержне все эти мелкие оси вращения имеют различные направления. Процесс намагничивания попросту состоит в том, что приводят эти вращения к более или менее параллельным осям, т.-е. к

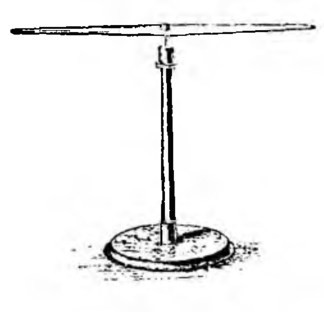


Рис. 50.

[1]) Надо заметить, что в одном случае (гиростата) я говорю об истинном меридиане, а в другом (стрелки) — о магнитном меридиане.

[2]) Имеются основания полагать, что не только магнитные, но и электрические силы зависят от вращательного (вихревого) движения. (Прим. ред.).

совпадению осей. Масса подобна медовому соту с вращающимися в одном и том же направлении на параллельных осях гиростатами в каждой ячейке; вот, хотел бы я сказать, магнит, если не во всех, конечно, отношениях, то во многих [1]).

Некоторые из вас, видя электромоторы и другие электрические приборы у этого стола, могут подумать, что они имеют отношение к нашим теориям и объяснениям магнитных явлений. Но я должен признаться, что электромотор, который я держу в руке (черт. 51), служит мне просто наиболее подходящим средством, какое я мог найти, для вращения моих волчков и гиростатов. На стержне этого мотора укреплен кусок дерева; поворачивая этот ключ, я могу сообщить мотору

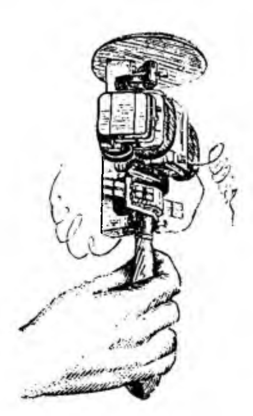


Рис 51.

[1]) Вращая с большой быстротой большую массу железа, сначала в одном направлении, а затем в другом, по соседству со свободно подвешенной магнитной стрелкой, хорошо защищенной от воздушных течений, можно, я думаю, вызвать магнитные явления, имеющие большой интерес для теории магнетизма. Мне до сих пор не удалось получить никакого следа магнитного действия, но я приписываю свою неудачу сравнительно малой скорости вращения, которым я пользовался, и недостатку чувствительности моего магнитометра.

электрическую энергию, и вот деревянный диск вращается с большой быстротой. Мне стоит лишь привести его край в соприкосновение с некоторыми из этих волчков или гиростатов, чтобы привести их во вращение. Вы видите, что я могу в несколько секунд привести во вращение полдюжины

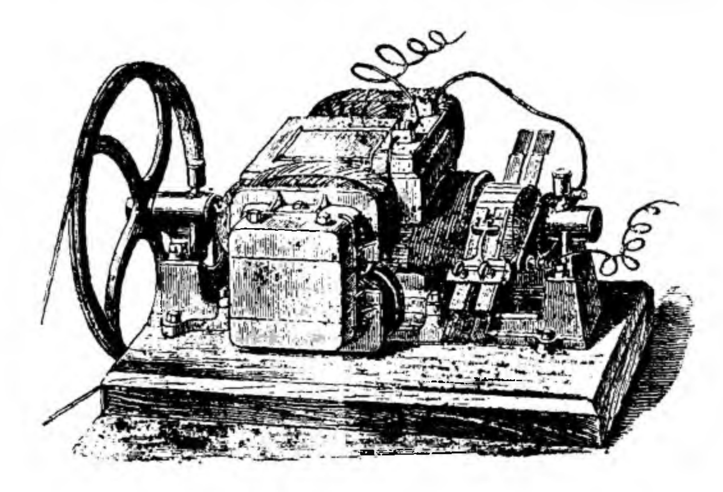


Рис. 52.

гиростатов, например, эту цепь гиростатов. Затем этот мотор большего размера (черт. 52), слишком неудобный для того, чтобы передвигать его руками, прикреплен к столу; я пользуюсь им для приведения во вращение моих больших приборов. Вы понимаете, что я пользуюсь ими, как мог бы пользоваться ими парикмахер, чтобы причесать ваши волосы, или прислуга, чтобы почистить ножи, или

же как я мог бы воспользоваться небольшой паровой машиной, если бы она более подходила к моей цели. Но мне было удобнее взять из Лондона эту батарею аккумуляторов и эти моторы, чем мешки с углем, котлы и паровые машины. Однако, при желании, все это может иметь для нас более глубокий смысл. Любовь стара, как горы, а вести любви ежедневно разносятся новейшим слугой человека—телеграфом. Эти волчки, вероятно, были известны первобытному человеку, однако мы научились от них лишь ничтожной части истин, которые они постоянно рассылают ненаблюдательному миру. Игрушки, подобные этим волчкам, вероятно запускали строители пирамид, когда они были детьми, а здесь вы видите эти волчки в соседстве с последними изобретениями человека. Я испытываю почти то же, что мог испытывать Стэнли, когда он с помощью электрического света и волшебного фонаря показывал свои приключения в страшных африканских лесах обычной публике лондонских салонов.

Описанные мною явления играют в природе такую важную роль, что, если бы позволяло время, я мог бы продолжать свои соображения и объяснения, не находя оснований остановиться на одном пункте предпочтительнее, чем на другом. Время, которым я располагаю, мне позволяет, однако, затронуть лишь еще один вопрос, именно вопрос о связи между светом и магнетизмом с одной стороны и поведением волчков — с другой.

Всем вам известно, что звук требует времени для распространения. Это есть вывод из обыденного наблюдения; легко, в самом деле, видеть, как вдали дровосек вновь поднимает свой топор прежде, чем слышен звук его последнего удара. Разрушительная морская волна появляется на берегу Японии через несколько часов после землетрясения, бывшего на берегу Америки, так как движение волн требует времени для прохождения Тихого океана. Хотя свет распространяется быстрее звука и морских волн, он несется не с бесконечной скоростью, и наступление затмения одного из спутников Юпитера замедляется на заметное число минут, так как свет требует времени для распространения. Скорость света была именно измерена посредством таких наблюдений, и мы знаем, что свет распространяется со скоростью около 187.000 миль или 3.000 миллионов сантиметров в секунду. Нет сомнения, что это число вполне точно, так как скорость света была также измерена в лаборатории совершенно независимым методом.

Самое интересное достижение физики со времени Ньютона—это результат опытов Фарадея и теоретические выводы Томсона и Максвелла. Это теория о том, что свет и лучистая теплота не что иное, как электромагнитные возмущения, распространяющиеся в пространстве. Я решаюсь только затронуть этот вопрос, хотя он имеет величайшую важность. Я могу лишь сказать, что из всех наблю-

денных при изучении света, электричества и магнетизма фактов ни один не противоречит теории Максвелла, но многие, как нам известно, подтверждают ее. Самое важное и раннее подтверждение этой теории было следующее. Если эта теория верна, то известное электро-магнитное измерение должно дать величину, в точности совпадающую с величиной скорости света. Во избежание недоразумений я должен предупредить вас, что упомянутое электрическое измерение касается величин, которые, повидимому, не имеют ничего общего со светом, кроме того, что при измерении мы пользуемся зрением: для измерения нужны лишь линейка в 2 фута длины, магнитная стрелка, катушки с проволокой и электрический ток. Точно произвести это измерение очень трудно. Множество искусных экспериментаторов независимо друг от друга и различными методами пришли к результатам, из которых только один различается на 5% от наблюденной скорости света. А те из них, к которым можно отнестись с наибольшим доверием, вполне совпадают со средней величиною измеренной скорости света.

Таким образом, мы имеем здесь удивительное согласие двух измерений; но без более подробного объяснения, чем то, которое я могу дать вам, вы не в состоянии выяснить этого совпадения между двумя, повидимому, независимыми величинами. Во всяком случае, мы знаем теперь, благодаря работам профессора Герца за последние

два года, что теория Максвелла правильна, и что свет есть электромагнитное возмущение; более того, мы знаем, что электромагнитные возмущения, которые распространяются, правда, несравненно медленнее, чем красный свет и теплота, проходят через наше тело; что этот признанный ныне род изучения может отражаться и переломляться, а также проникать сквозь кирпич, каменные стены и туманную атмосферу, не проходимые для обычного света. Возможно, что в будущем все военные и морские сигналы маяков будут передаваться действием этого нового удивительного рода излучения, особой формой которого является свет. Таким образом, в этот момент два жителя Лидса могли бы сигнализировать друг другу через полумилю домов, включая эту залу, в которой мы находимся [1]).

Я упоминаю об этом величайшем открытии современной физики, так как зародыш его, опубликованный Томсоном в 1856 г., прямо указывает на аналогию между поведением наших волчков и магнитными и электромагнитными явлениями. Одна-

---

[1]) Я заявлял о привилегии на эту систему сигнализации несколько времени раньше, чем высказал эти мысли, но хотя они были верны, я отказался от привилегии из стыда, что я так опрометчиво хотел получить право воспользоваться трудами Фицджеральда и Герца. (Прим. автора).

Когда Перри писал эти строки, радио-волны не были еще достаточно изучены для практического приложения. Ныне, как известно, радио-техника во много раз превзошла то, о чем говорит Перри. (Прим. ред.).

ко, нам легче будет рассмотреть здесь механическую иллюстрацию вращения плоскости поляризации света посредством магнетизма, которую Томсон выработал в 1874 г. Это явление, я думаю, может считаться наиболее важным из всех открытий Фарадэя. Оно имело огромное значение для науки, так как было сделано в направлении, где даже не подозревали возможности новых явлений. Об открытии электрических индуктивных токов, которому обязаны своим существованием все компании электрического освещения и передачи энергии настоящего времени,—сам Фарадэй говорил, что оно было естественным следствием открытий его предшественника—естествоиспытателя Эрстеда. Но это магнито-оптическое открытие было совершенно неожиданно.

Теперь я изложу это явление.

Некоторые из вас знают, что если пропустить луч света через прибор, называемый Николевой призмой, то он становится поляризованным или односторонним, т.-е. весь свет, проходящий через призму, распространяется в виде колебаний, происходящих в одной плоскости. Этот шнурок, висящий на потолке (черт. 53), показывает природу плоско-поляризованного света. Все точки шнурка выбрируют в одной и той же плоскости. Призма A (черт. 54) пропускает только свет, поляризованный в вертикальной плоскости. В точке B имею второй прибор того же рода и располагаю его так, что он также пропускает только свет, поля-

ризованный в вертикальной плоскости. Поэтому большая часть света, проходящего через поляризатор, как называется первая призма, также легко пройдет через анализатор, как называется вторая призма. И вот я даю этому свету возможность пройти в мой глаз. Но если я поверну анализатор на прямой угол, я не увижу света; при поворачивании анализатора было постепенное потемнение. Теперь анализатор будет пропускать только свет, поляризованный в горизонтальной плоскости, а такого света он не получает.



Рис. 53.

В этой модели (черт. 55) вы увидите хорошую иллюстрацию поляризованного света. Эта белая, ярко освещенная нить MN натянута грузом через блок M, а конец ее N прикреплен к одному стержню камертона. Несколько растрепанных мотков пряжи вокруг части NA задерживают ее колебания в каком-либо определенном направле-

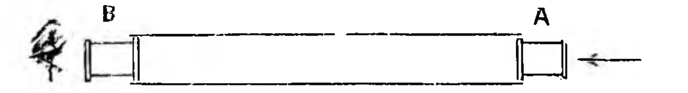


Рис. 54.

нии, но от A до M нить свободна от всякого стеснения. Вертикальный разрез в N, через который про-

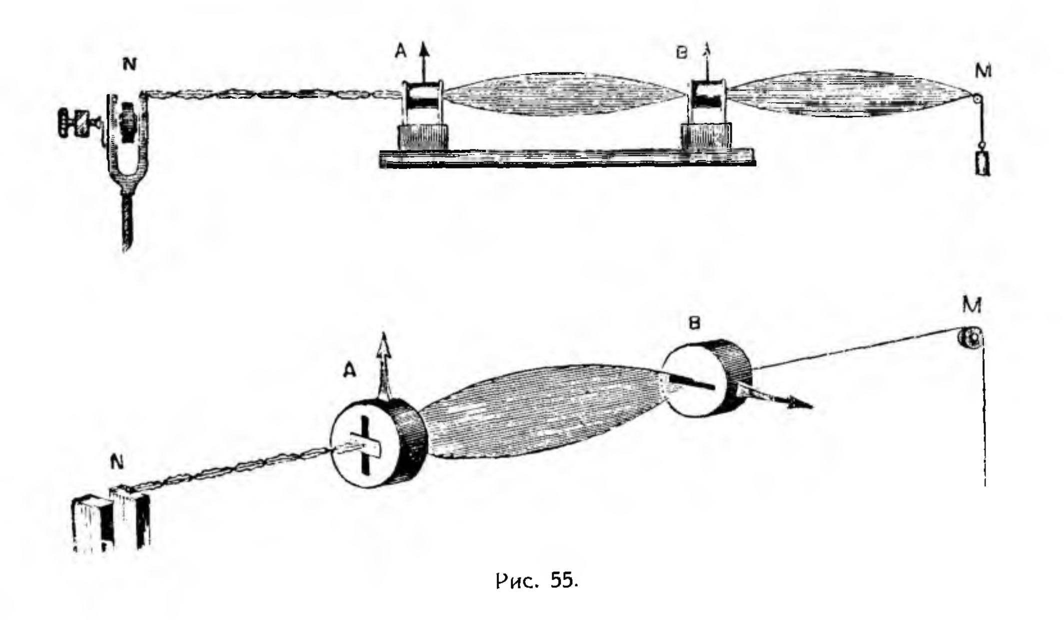


Рис. 55.

ходит нить, определяет характер колебаний части AB: каждая часть нити между A и B колеблется только в направлении вверх и вниз. Вертикальный разрез в B позволяет вертикальному колебанию распространяться дальше, и потому мы видим, что часть BM колеблется таким же образом, как и AB. Я мог бы указать целый ряд случаев, когда показанная модель не является достаточной иллюстрацией того, что происходит со светом на черт. 54. Но она вполне достаточна для моей настоящей цели. A есть поляризатор колебаний; он позволяет движениям проходить только вверх и вниз; B также пропускает лишь движения вверх и вниз. Но если поворачивать B, то разрез пропускает все меньше и меньше движений вверх и вниз, пока, придя во второе положение, показанное в нижней части чертежа, он уже не пропускает движений вверх и вниз; тогда нет видимого движения нити между B и M. Вы можете видеть, что если бы мы знали, в какой плоскости происходят колебания нити (в данном случае эта плоскость вертикальна), мы должны бы были только повернуть B до такого положения, когда мы не получали бы уже проходящих колебаний и, таким образом, определили направление их плоскости колебаний. Поэтому, как и в случае света, мы можем назвать A поляризатором, а B—анализатором колебаний.

Теперь, если поляризованный свет проходит из A в B (черт. 54), положим, через воздух, и мы

помещаем анализатор так, чтобы была темнота, то, поместив на пути луча раствор сахара, мы не будем уже иметь темноты в В. Чтобы снова получить темноту, нужно повернуть В; отсюда очевидно, что раствор сахара повернул плоскость поляризации света. Я предполагаю, что вы знаете кое-что о том, что называется вращением плоскости поляризации света. Вы знаете, что раствор сахара вызывает ее, и чем длиннее путь луча через сахар, тем большее вращение он вызывает. Этим явлением пользуются в сахарной промышленности для нахождения крепости сахарного раствора. Опытом с нитью я обязан профессору Сильвану Томсону, и тот прибор, который я сейчас покажу, принадлежит также ему.

Здесь (черт. 55 A) у меня мощная обмотанная катушка или электромагнит. В середине он имеет отверстие, через которое можно пропустить луч света от электрической лампы; и вот еще кусок Фарадэева флинтгласа [1]), который почти заполняет отверстие. На одном конце находится поляризатор, а на другом — анализатор. Теперь вы видите, что поляризованный свет проходит через флинтглас и анализатор и входит в глаз наблюдателя. Затем я поворачиваю анализатор, пока свет не перестает проходить. До сих пор в приборе не было магнетизма, но он дает средство

---

[1]) Тяжелое стекло с удельным весом (5,5) в два раза бо́льшим обычного. (Прим. ред.).

вызвать весьма интенсивное магнитное поле в том направлении, в котором идет луч, и если бы вы



Рис. 51 А.

посмотрели, вы увидели бы, что свет проходит теперь через анализатор. Магнетизм сообщил нечто свету: он сделал его способным проходить

там, где он не мог проходить раньше. Если же я немного поверну поляризатор, я снова задержу свет. Теперь я знаю, что магнетизм превратил стекло в среду, подобную сахару, которая вращает плоскость поляризации света.

В этом опыте вы должны были положиться на мое личное наблюдение действительно вызванного вращения. Но если я помещу между поляризатором и анализатором этот диск проф. Сильвана Томсона, состоящий из 24 радиальных кусков слюды, то я буду иметь возможность показать также аудитории действительное вращение плоскости поляризации света. Теперь вы видите на экране свет, прошедший через анализатор в виде креста. Если крест повернется, это признак вращения плоскости поляризации света. Посредством этого электрического ключа я могу создать, разрушить и направить в противоположном направлении магнитное поле в стекле. Когда я создаю магнетизм, вы видите вращение креста; я разрушаю магнетизм, и он возвращается в свое прежнее положение; я создаю противоположный род магнетизма, и вы видите, что крест поворачивается в противоположную сторону. Надеюсь, вы видите теперь, что магнетизм вращает плоскость поляризации света, как раствор сахара.

Как на иллюстрацию того, что происходит между поляризатором и анализатором, посмотрите опять на этот шнурок (черт. 53), прикрепленный к потолку. Если я резко потяну его нижний конец

с востока на запад, вы видите, что всякая часть шнурка движется с востока на запад. Можете ли вы себе представить шнурок, у которого нижний конец колеблется с востока на запад, точка на несколько ярдов выше с востока-северо-востока на запад-юго-запад, а высшая точка его—с северо-востока на юго-запад и т. д., так что для верхних точек шнурка направление постепенно изменяется? Некоторые из вас наверное могут представить себе это. Мы имели бы то, что нам нужно, если бы этот шнурок был цепью гиростатов, подобно изображенной на чертеже. Рассматриваемые сверху, они все вращаются в одном направлении, так как связаны петлями без трения. Вот такая цепь (черт. 56), одна из многих, которыми я пользовался, таким образом, уже несколько лет. Но, хотя я часто думал, что видел такое явление в цепи, я должен признаться в постоянных неудачах. Затруднения, встреченные мною, почти все относятся к механике. Вы видите, что, касаясь последовательно всех гиростатов этим быстро вращающимся диском, приводимым в движение небольшим электромотором, я могу заставить их все вращаться в одно и то же время. Но вы можете заметить, что, благодаря плохому механизму, плохому расчету с моей стороны и недостатку ловкости, явление совершенно маскируется резкими движениями гиростатов, причины которых легче уяснить, чем устранить. Принцип действия ясно виден на этом гиростате, подвешенном в виде че-

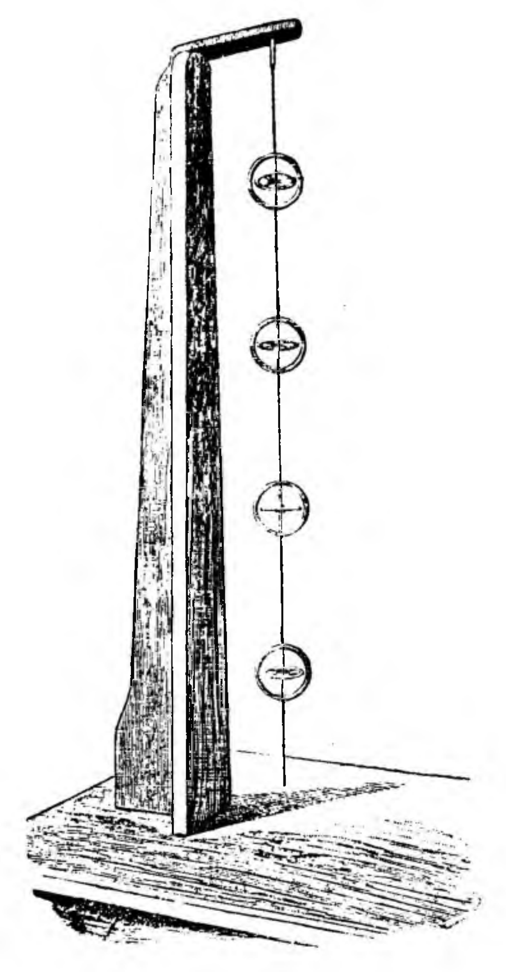


Рис. 56.

чевицы маятника (черт. 57). Вообразите, что это частица вещества, изменяющего свет в магнитном поле; по тонкой струе песку, падающего из гиро-

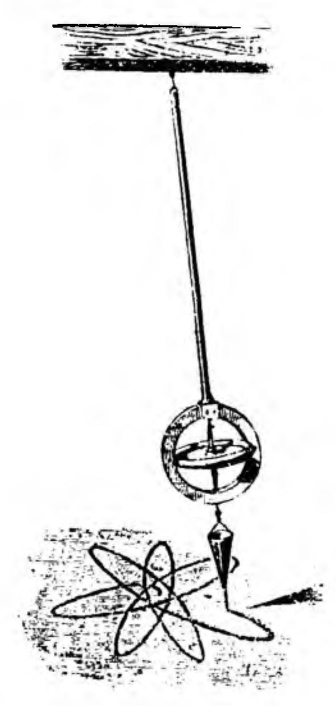


Рис. 57.

стата на бумагу, вы увидите, что его плоскость поляризации постоянно изменяется. Но, к счастью, я могу сказать, что сегодня я в состоянии показать вам действительно удачную иллюстрацию принципа Томсона. Этот в высшей степени поучительный опыт в первый раз показывается аудитории. У меня несколько двойных гиростатов (черт. 58), помещенных на одной линии, соединенных концами посредством небольших кусков резины. Каждый прибор подперт в центре тяжести и может вращаться в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Конец рычага *A* может быть приведен моей рукой только в горизонтальное колебательное движение, которое передается от одного гиростата

к другому до последнего. Заметьте, что когда гиростаты не вращаются, то движение везде горизонтально. Весьма важно не получить здесь явления отраженного луча света, и поэтому я и сообщил всем подставкам достаточное трение. Теперь я начну вращать все гиростаты, и вы заметите, что в то время, как A движется почти прямо горизонтально, ближайший гиростат движется прямо, но в слегка отличной плоскости; второй гиростат движется опять в другой плоскости и т. д; каждый гиростат немного поворачивает плоскость, в которой происходит движение, и вы видите, что последний гиростат вовсе не получает горизонтального движения из A, но почти вертикальное. Эта первая, после многих попыток, удачно сделанная механическая иллюстрация влияния магнетизма на свет. Причина явления, происходящего в этой модели, должна быть понятна всякому,

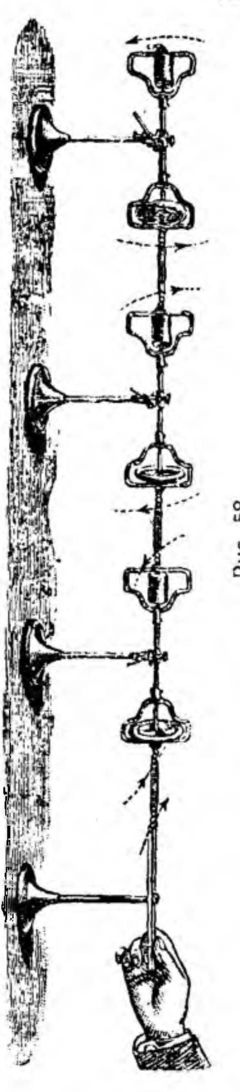


Рис. 58.

кто старался следить за мною с начала лекции.

Все вы можете видеть, что нам достаточно представить, что множества частиц стекла вращаются подобно гиростатам, и что магнетизм отчасти вызвал одинаковое расположение их осей, чтобы иметь динамическую теорию открытия Фарадэя. Магнит поворачивает плоскость поляризации так же, как раствор сахара; но опытом найдено, что магнит делает это безразлично во всяком направлении, тогда как сахар обнаруживает путь, соответствующий спиральной структуре молекул. Вы видите, что в этой важной особенности действие гиростата аналогично действию магнита, а не сахара. Поэтому мы должны считать эту модель, аналогичную опыту Фарадэя, сильным подтверждением идеи, что магнетизм состоит во вращении.

Я уже перешел границы времени, обычно уделяемого популярной лекции; но, как видите, я еще далеко не исчерпал нашего предмета. Я не вполне уверен, что выполнил задачу, которую себе поставил. Моя задача была, исходя из различия вращающегося и покоящегося волчка, показать вам, что наблюдение этого обычного явления и решимость понять его могут привести нас к пониманию гораздо более сложных вещей. Нет более важной истины, чем та, что в изучении обыденных явлений лежат все важные открытия будущего. Уже три тысячи лет тому назад волчки были общеизвестны, но люди никогда не изучали их. Три тысячи лет тому назад люди кипятили воду и полу-

чали пар, но паровая машина была им неизвестна. Они имели уголь, селитру и серу, но не знали ничего о порохе. Они видели ископаемые в горах, но чудеса геологии не были изучены ими. У них были куски железа и меди, но ни один из них не подумал о пяти десятках простых способов, известных нам ныне, для сочетания этих вещей в телефон. Почему не был известен им даже простейший род сигнализации с помощью флагов и фонарей, хотя знание это могло изменить судьбу мира в один из великих дней сражений, о которых мы теперь читаем? Ныне мы смотрим на природу крайне отличным образом, с бо̀льшим запасом знаний, с гораздо бо̀льшим почтением и с меньшей долей неразумного суеверного страха. Но тем же, чем мы являемся в отношении людей за 3000 лет до нас, будут для нас люди только через 100 лет после нас, так как скорость прогресса в науке сама ускоряется. Армия научных работников умножается ежедневно, и я уверен, что вскоре каждый человек будет научным работником. Таким образом, мы постепенно заставим время и пространство уступить и повиноваться нам. Подумайте только об этом! О всех открытиях ближайшей сотни лет; о вещах, неизвестных нам, которые нашим потомкам будут так хорошо известны, что они будут смеяться над нами, как круглыми невеждами, считая эти вещи самоочевидными фактами. Я говорю обо всех тех вещах, которые создали бы каждому из нас славу великого новатора, если бы он открыл их завтра. Од-

нако, через сто лет дети будут знать эти вещи; они будут встречать их, может быть, на каждом шагу, на каждой складке полы своего платья.

Представьте себе следующий вопрос, который будут предлагать на экзамене в школе 2090 года после Р. Х.: „Можете ли вы объяснить грубое невежество наших предков, которые не могли видеть из Англии то, что делали их друзья в Австралии [1])“? Или вопрос: „Известия от наших друзей на планете Марс получаются каждую минуту, и на них посылаются ответы. Как вы объясните крайнее невежество наших предков, которые не знали, что им тоже посылались при случае эти известия“? Или такой вопрос: „Какой металл во столько раз крепче стали, во сколько раз сталь крепче свинца? Объясните, почему это открытие не сделано в Шеффильде“?

[1]) В совершенстве известно, что можно видеть посредством электричества, но ни один богатый человек, повидимому, не желает пожертвовать несколько тысяч фунтов, необходимых для устройства этого прибора. Если бы я мог сберегать деньги и время, мне кажется, что я истратил бы их на это. Но возможно, что, если бы я был в состоянии выбросить 300 фунтов, я чувствовал бы большее удовольствие в приращении богатства, чем в каком-либо техническом достижении. (Прим. автора).

Насколько быстро прогрессирует наука, видно из того что „электрическое дальновидение“, отнесенное Перри к 2090 г., ныне стало практическим фактом. См. книжку Д. Михали: „Электрическое дальновидение и телегор“. Изд. «Книга». 1925 г. (Прим. ред).

Но есть еще вопрос, которого наши потомки никогда не будут предлагать в тоне шутки, так как, к глубокому горю их, каждый мужчина, женщина и ребенок будут знать ответ на него. Вот этот вопрос: „Если бы наши предки в вопросе экономии угля не были так неразумны, как младенцы, которые считают пенс равноценным полкроне, то зачем они стали бы так расточать наш уголь? Зачем они стали бы разрушать то, что никогда не может быть возмещено“?

Позвольте мне, друзья мои, в заключение подчеркнуть вам ценность знания и необходимость пользоваться всяким удобным случаем вашей практики для увеличения вашего запаса знаний. Много есть блестящих вещей, которые успешно конкуррируют с наукой и сильнее чаруют сердца людей. Богатство и положение, изящество и роскошь, могущество и слава зажигают честолюбие людей и привлекают мириады страстных поклонников. Но, поверьте мне, все это ничтожно в сравнении с наукой и не может доставить такого удовлетворения, как наука. Под солнцем нет ничего столь дурного, чего не могло бы очистить и победить знание. Нет ни мужчины, ни женщины, рожденных в этом мире, которым не была бы дана способность не только собирать знания для своего собственного развития и удовольствия, но и прибавить нечто, хотя бы немногое, к общему запасу знаний, которые представляют лучшие богатства мира.

—

ПРИЛОЖЕНИЕ I.

Употребление гиростатов.

В 1874 г. два знаменитых человека сделали большую ошибку, желая предупредить или уменьшить качку салона на судне с помощью быстро вращающегося колеса. М-р Макфарлэн Грэй указал их ошибку; колесо может сообщить устойчивость, только имея возможность прецессировать; тогда вызываемый им вращательный момент равен угловой скорости прецессии, умноженной на момент количества движения вращающегося колеса.

Изумительно, как много инженеров, знающих законы чисто поступательного движения, не знают углового движения; однако, аналогии между двумя рядами законов крайне просты. Я указал эти аналогии в своей книге по „Прикладной Механике". Аналогия между центростремительной силой тела, движущегося по кривому пути, и кручением или вращательным моментом тела есть простой ключ ко всякому вычислению гиростатов или волчков. Когда вращение волчка сильно уменьшено, необходимо вспомнить, что полный момент количества движения имеет место не вокруг оси вращения (см. мою „Прикладную Механику", стр. 594); я полагаю, что поправка для этого вводит услож-

нение, отпугивающее студентов от изучения прихотей волчков; но во всех случаях, которые могут возникать перед инженером, было бы нелепо изучать столь малую поправку, и, следовательно, вычисление в конце концов чрезвычайно просто.

Изобретатели, применявшие гиростаты, решали следующие задачи:

1. Удержать платформу орудия горизонтально на палубе судна, как бы оно ни качалось или ныряло. Удержать подводное судно или летательную машину в плоскости, вполне горизонтальной или наклонной некоторым определенным образом [1]). Такие вещи легко осуществить без помощи гиростата; посредством, например, спиртовых уровней можно заставить мощные электрические или другие моторы держать что-нибудь всегда в горизонтальном положении. Действительные методы, применявшиеся м-ром Бошан-Тоуэр (гидравлический метод) и мною (электрический метод), основаны на применении гиростата, представляющего маятник, так как ось его вертикальна.

2. Сильно уменьшить качку (или ныряние) судна или салона судна. Эту задачу решил м-р Шлик с большим успехом до известной степени для миноносцев.

3. В однорельсовой железной дороге м-ра Бреннана, поддерживать равнодействующую силы веса, давления ветра, центробежной силы и пр. точно

---

[1]) Вероятно, впервые описанным м-ром Бреннаном.

на одной линии с рельсом так, что, как бы груз вагона ни изменял своего положения, и хотя бы волчок шел по кривой линии, он должен быстро приводиться в такое положение, что в нем уже нет сил, стремящихся изменить его угловое положение. Вагон должен наклоняться по ветру или к центру кривизны рельса, чтобы быть в равновесии.

4. Мне не надо упоминать о таких вопросах, как употребление гиростатов для поправки компасов на судах, изложенное на стр. 122.

Задачи 2 и 3—те именно, к которым я хочу обратиться. Для судна в 6.000 тонн Шлик применял большое колесо от 10 до 20 тонн весом, вращающееся вокруг оси EF (черт. 1), среднее положение которой вертикально. Ее опоры находятся в раме ECFD, которая может двигаться вокруг поперечной оси CD судна прецессионным движением. Центр тяжести колеса находится в устойчивом равновесии. Пусть судно наклонилось на угол R от своего прямого положения, и ось EF прецессировала на угол P от вертикального положения. Назовем угловую скорость качания R, а угловую скорость прецессии — P, и пусть момент количества движения колеса будет m. Для тела, колеблющегося подобно судну, легко составить уравнение движения; в это уравнение мы вводим только момент mP, уменьшающий R; в уравнение для P мы вводим лишь момент mR, увеличивающий P. Как принято, мы вводим величины трения:

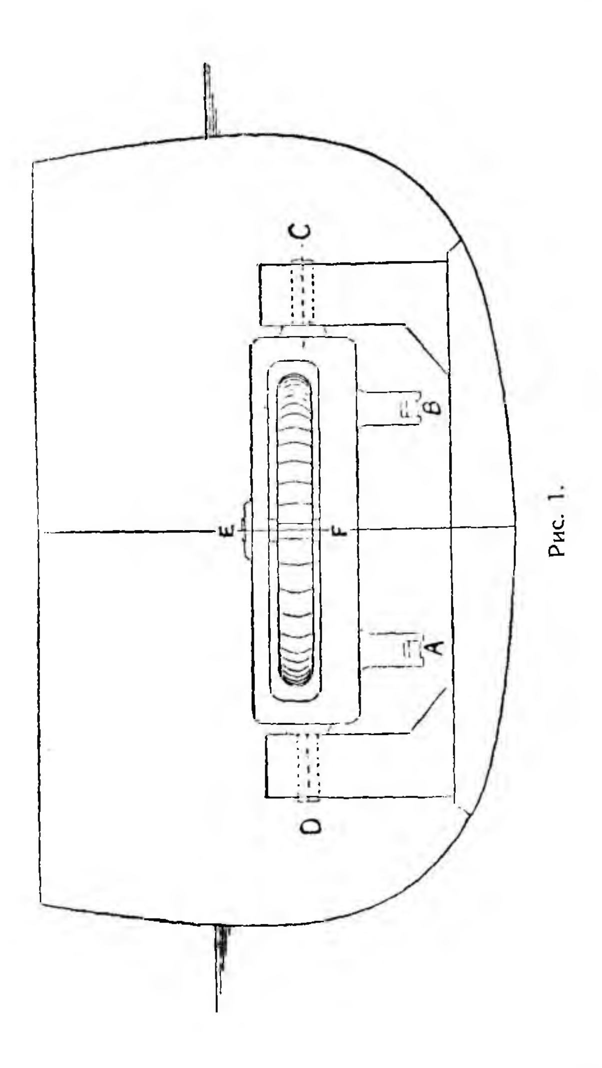


Рис. 1.

в первом случае FR (F—постоянный коэффициент), ослабляющий качку судна; во втором случае FP—трение жидкости, находящейся в паре качающихся стаканов, подвешенных на ножках A и B для ослабления прецессионных колебаний рамы. Можно найти, что угловое движение P гораздо больше качания R. В самом деле, P так велико, что необходимы остановки для предупреждения излишней скорости. Обыкновенно, пока действует остановка, предупреждающая прецессию, качка судна происходит так, как-будто колесо гиростата не вращалось. Шлик приводит свои колеса в движение паром; в будущем он, вероятно, поступит, как Бреннан, приводя их в движение электромоторами и помещая их в непроницаемых безвоздушных коробках, так как потеря энергии от трения об атмосферу будет пропорциональна плотности ее. Решение уравнений для нахождения природы движений R и P иногда затруднительно, но не требует больших математических знаний. В рассмотренном мною случае судна в 6.000 тонн период качания возрастал от 24 до 20 секунд при употреблении гиростата, и, следовательно, скорость качки уменьшилась. Это медленное периодическое движение сопровождалось движением с периодом в две секунды, но, если последнее и появлялось, оно очень скоро затухало. Обыкновенно принимается, что с помощью подводных килей, качающихся камер и возможно низким метацентром мы уже удлинили время колебания и заглушили

качку R до возможного предела ранее применения гиростата. Я полагаю, что всякий знает о возможности удлинения периода естественной качки судна, хотя бы он не знал причины этого. Причина, почему современные суда большого водоизмещения так устойчивы, состоит в том, что их естественные периоды колебания очень велики сравнительно с вероятнымм периодами морских волн; ибо, когда ряд волн действует на судно, заставляя его качаться, и период каждой волны не очень отличается от естественного периода колебания судна, качка может дойти до опасной величины.

Если мы попытаемся приложить метод Шлика к вагону Бреннана, то легко показать, что движение будет неустойчиво, независимо от того, есть ли здесь трение, или нет. Если нет трения, и мы сделали раму гиростата неустойчивой, укрепив его центр тяжести выше оси CD, то получаются колебания, при чем малейшее трение будет делать их все бо̀льшими и бо̀льшими. Даже при отсутствии трения здесь будет неустойчивость, если только m, момент количества движения колеса, меньше известной величины. Таким образом, мы видим, что никакая форма метода Шлика или видоизменение его не может служить разрешением задачи Бреннана.

Метод Бреннана вполне отличен от способа Шлика. Заглавный лист показывает модель его вагона (около 6 футов длины); он приводится в

движение электрическими аккумуляторами, расположенными в вагоне. Гиростатические колеса приводятся в движение электромоторами (не показанными на черт. 2); так как они вращаются в почти безвоздушном пространстве, то они требуют лишь небольшой энергии, и даже при остановке тока они продолжают вращаться с достаточной скоростью в течение известного времени. Но не надо забывать, что энергия тратится на трение, и нужна работа для приведения вагона в новое положение равновесия, а эта энергия доставляется электромоторами. Если гиростаты остановятся, или скорость их упадет до известного предела, то автоматически спускаются две подставки по обе стороны вагона; каждая спускается до тех пор, пока не достигнет поверхности земли, так что одна может опуститься дальше другой.

Действительный вагон, который он строит ныне, может передвигаться с другими вагонами своего рода локомотивом, электрическим, керосиновым или паровым, или каждое колесо может быть движущим колесом. Он предпочитает добывать электрическую энергию на своем поезде и приводить в движение каждое колесо электрическим мотором. Его колеса так независимы друг от друга, что могут очень быстро преодолевать искривления и вертикальные неровности рельса. Рельс укреплен на лежнях, лежащих на земле, которая может иметь боковую наклонность. Модель вагона поддерживается однорельсовой рессорой с каждого

конца; каждая рессора имеет два колеса, укрепленные вертикально и горизонтально; вагон бежит по круглой железной газовой трубке, а иногда по канату из стальной проволоки; дорога нигде не выравнена или сглажена, и в одном месте рельс представляет канат из стальной проволоки, натянутый на выемке, как показано на рисунке заглавного листа. Интересно остановить вагон на середине этого каната и потянуть канат в сторону, чтобы видеть автоматическое колебание вагона. Вагон может быть приведен в качание без пассажиров или груза. Если груз вагона—большие свинцовые гири—переместится в новое положение, вагон очень быстро приспособится к новым условиям. Когда вагон стоит, то при толчке в сторону от человека, стоящего на дороге, он обыкновенно отклоняется в противоположную сторону, как упрямое животное; толкая его соответствующим образом, можно вызвать значительные уклонения. Предоставленный же самому себе, вагон быстро выпрямляется.

Черт. 2 показывает схематическое изображение пары гиростатов Бреннана в вертикальном сечении. Коробки G и G′, внутри которых в пустоте вращаются колеса F и F′ с одинаковой скоростью, но в противоположных направлениях (приводимые в движение электромоторами, не показанными на чертеже), укреплены на вертикальных осях EJ и E′J′. Они соединены зубчатыми сегментами JJ и J′J′, так что их прецессионные движе-

ния равны и противоположны. Вся система вертится около продольной оси C. Таким образом, при прецессии, когда H выходит из бумаги, H′ также

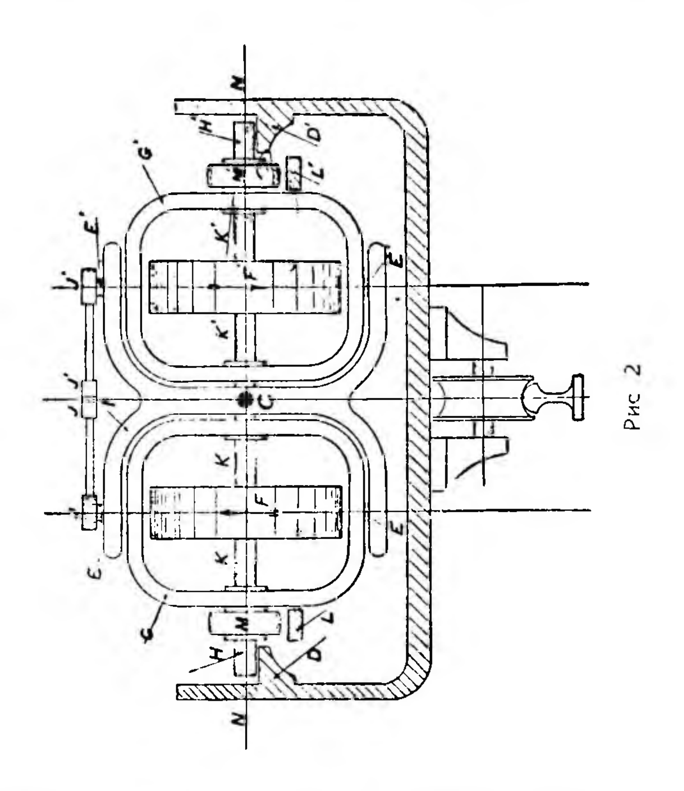


Рис 2

выходит из нее, а когда H входит в бумагу, то входит и H′. Когда вагон в равновесии, то оси KH и K′H′ находятся на линии NOO′N′ поперек вагона в плоскости бумаги. Они лежат также на ли-

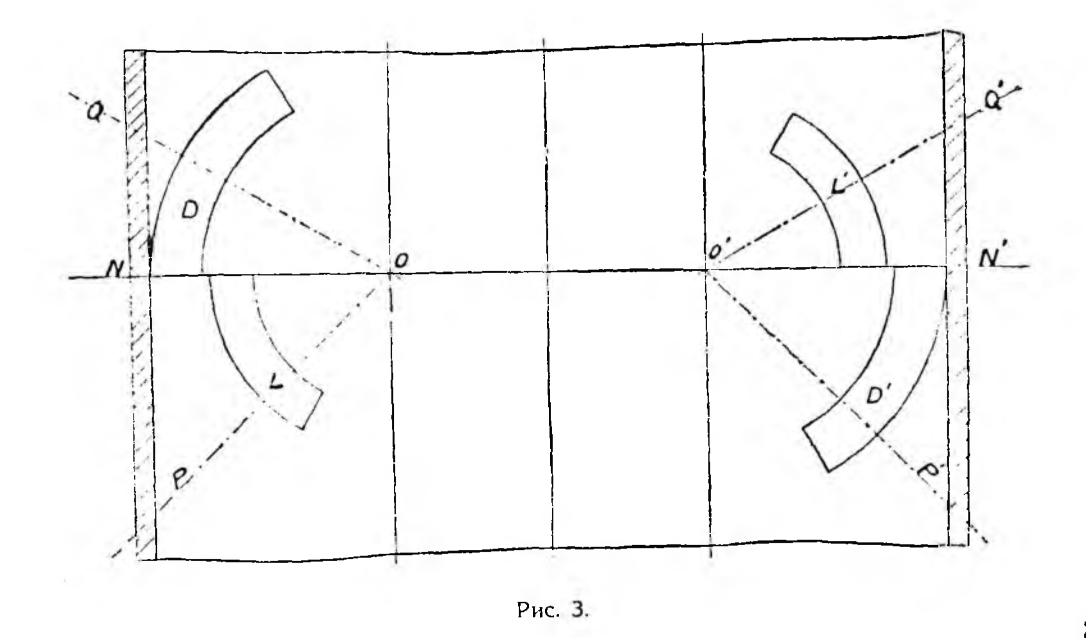


Рис. 3.

нии, образующей прямые углы со всей равнодействующей (вертикальной или почти вертикальной) силой вагона. Я назову NOO'N' средним положением. Пусть $^1/_2 m$ будет моментом количества движения каждого колеса. Предположим, что вагон внезапно выходит из положения равновесия благодаря порыву ветра, центробежной силе или изменению нагрузки, так что полка D поднимается до точки H, оси вращения (или вала, скрепленного с осью) гиростата. H начинает откатываться от меня, и, если нет скольжения (а здесь всегда бывает скольжение, и в действительности скольжение—необходимое условие), оно будет вертеться, т.-е. гиростаты будут прецессировать с постоянной угловой скоростью a и сообщать вращательный момент ma полке D, а потому и вагону. Надо заметить, что момент больше, когда диаметр вращающейся части больше. Эта прецессия продолжается, пока вал и полка не перестанут соприкасаться. Сначала H поднимается с полкой, а потом, при опускании полки, вал на некотором расстоянии сопровождает ее. Если бы отклонение произошло в противоположном направлении, то полка D' поднимала бы вал в H' и вызывала бы прямо противоположную прецессию и вращательный момент противоположного рода.

Теперь наши оси вышли из среднего положения; каким образом они приводятся назад из OQ и O'Q' в ON и O'N', при чем H постоянно опускается до прямого положения? Сущность изобре-

тения Бреннана в том, что после сообщения вагону восстанавливающего момента оси движутся назад в положение NOO'N' (при чем H постоянно опускается), так что они готовы к новому действию. Он достигает этой цели различными способами. Некоторые способы, описанные в его привилегиях, весьма отличны от того, что применяется в его модели, а метод, предположенный для действительного вагона, опять весьма отличен. Я опишу один из этих методов. М-р Бреннан говорил мне, что он считает этот старый метод грубым, но что, естественно, он не желает позволить мне обнародовать свой последний метод.

D' есть круглая полка, идущая от среднего положения по направлению ко мне; D есть такая же полка, идущая от среднего положения в бумагу или от меня. На этих полках вращаются H' и H, вызывая прецессию по направлению от линии NOO'N', как я сейчас описал это. Когда H' внутри бумаги, или же H вне бумаги, они не находят полки, чтобы катиться по ней. Но здесь две другие полки L и L' для двух других валов M и M', которые прикреплены к рамам, концентрически с осями; они могут вращаться, но не вращаются осями. Давление на них полок L и L' вызывает отрицательную прецессию, и они повертываются к положению NOO'N'. Обыкновенно здесь бывает трение на опорах, замедляющее вращение, а потому и прецессию. Важно помнить, что H и H', касаясь обеих полок (когда один касается, то другой не

касается), вызывают прецессию по направлению от среднего положения NOO′N′ в размере a, которая производит восстанавливающий момент ma почти постоянной величины (исключая скольжение), тогда как, при соприкосновении M или M′ к его полке L или L′ (когда один касается, другой не касается), давление на полку и трение определяют величину прецессии по направлению к среднему положению NOO′N так же, как небольшое вертикальное движение. Трение на опорах M и M′ необходимо.

Положим, что уклонение от положения равновесия, подлежащее исправлению, есть R, когда D давит на H вверх. Момент ma и его время действия (полный импульс момента) слишком велики, и R более, чем исправлено; это заставляет вал H′ действовать на L′, и оси поворачиваются к среднему положению и даже немного далее, колебания гиростатов выходят и входят в среднее положение, а колебания вагона около его положения равновесия быстро уменьшаются, пока снова ни H, ни H′, ни M, ни M′ не перестанут касаться полок. Весьма удивительно видеть, как быстро ослабевают колебания. Трение ускоряет прецессию по направлению от NOO′N′. Трение замедляет прецессию, направленную к среднему положению.

Можно видеть, что при двух гиростатах вместо одного, когда на линии есть изгиб, хотя плоскость NOO′N′ вращается, и можно сказать, что гироста-

ты прецессируют, отклоняющие пары сил, которые они могли бы вызвать, равны и противоположны. Я не знаю, испытывал ли Бреннан один только гиростат при вертикальном среднем положении оси колеса, но даже в этом случае изменение склона или неровности линии могли бы сделать необходимой пару.

Очевидно, что этот метод Бреннана совершенно отличен по характеру от метода Шлика. Здесь действительно совершается работа, которая должна быть доставлена электромоторами.

Важнее всего знать следующее: модель Бреннана удивительно удачна; вес аппарата—составляет небольшую часть веса вагона; будет ли это так же в случае вагона весом в 1000 раз больше? Вычисление не трудно, но я не могу дать его здесь. Если допустить, что вагон внезапно оказался под углом R от своего положения равновесия, то можно принять, умножая каждое измерение вагона на *n*, а каждое измерение аппарата—на *p*, что при внезапном порыве ветра, встрече изгибов пути или случайной перемене положения части груза, R обратно пропорционально *n*. Не надо доказывать разумного допущения, лежащего в основании этого вычисления, но результат тот, что если *n* равно 10, *p* равно 7,5. Т-е., если вес вагона умножить на 1000, то вес аппарата надо умножить только на 420. В самом деле, если в модели вес аппарата составляет 10% веса вагона, то в большом вагоне

вес аппарата составит около 4% веса вагона. Это весьма удовлетворительный результат [1]).

Мои вычисления, повидимому, показывают, что аппарат Шлика составляет большую долю всего веса судна, когда судно больше, но при настоящем положении опытов об этом можно говорить лишь как о вероятности. Мое личное мнение то, что большие суда уже так достаточно устойчивы.

В обоих случаях надо заметить, что если диаметр колеса увеличить в большей пропорции, чем размеры судна или вагона, то относительный вес аппарата можно уменьшить. Колесо двойного диаметра, но того же веса, может иметь двойной момент количества движения и потому двойное действие. При этом я предполагаю напряжения вещества неизменными.

Я описал аппарат Бреннана, как он устроен в его модели. Действительный вагон, везущий много пассажиров, показанный с большим успехом в Лондоне, имеет иное устройство, но мне было бы очень трудно объяснить принцип его действия без помощи математики.

---

[1]) Вес нагруженного вагона Бреннана составляет 313 ф., включая гиростаты и камеры для груза. Его два колеса весят 13 ф. Если сделать их из никкелированной стали и пустить с наибольшей безопасной скоростью, то они будут весить гораздо меньше.

ПРИЛОЖЕНИЕ II.

Гиро-компас для судов.

На стр. 192 я говорю о гиростате в качестве компаса, но я не мечтал, что гиро-компас будет применяться через 15 лет. Ошибки магнитного компаса на судах велики и вносят большую путаницу, но они, вероятно, не вызвали бы применения гиро-компаса, если бы этого не потребовало изобретение подводной лодки. Магнитный компас вовсе не может применяться внутри стальной подводной лодки.

Описанный на стр. 114—118 совершенно свободный гиростат, ось вращения которого сначала горизонтальна и указывает на север, повидимому, постепенно отклоняется от горизонтального положения, если предоставлена самой себе, и указывает в сторону от севера. В действительности же ось имеет постоянное направление в пространстве, а изменяется горизонтальное положение меридиана, вследствие движения земли. Чтобы ось была неизменно направлена к северу, необходимо держать ее по возможности горизонтальной, как показано на черт. 47. Там гиростат на большой подставке очень быстро обращается к северу, если нет трения на вертикальной оси, и такой гиро-компас можно

применять на суше[1]). Я пользовался очень точным гиро-компасом, который обращается к северу из всякого почти положения в полминуты. Но на судах невозможно иметь прочной подставки, а потому вся рама черт. 47 должна быть подвешена на кольцах, которые для устойчивости должны находиться выше центра тяжести всей висящей массы. Несмотря на качку и ныряние судна, тяжесть приводит ось вращения в среднее горизонтальное положение, как мы этого желаем. Если ось выведена из своего положения в плоскости меридиана, то она колеблется очень медленно, то принимая направление меридиана и положение без отклонения, то выходя из них. Отклонение всегда незначительно, даже при большом перемещении азимута.

Направляющее кручение к северу всегда крайне мало, в виду медленного вращения земли; оно пропорционально угловой скорости колеса и уменьшается в высших широтах. Колесо обыкновенно находится внутри коробки, заключающей также статор трех-фазного электромотора, так что колесо идет с постоянной большой скоростью. Скорость не должна быть так велика, чтобы вызвать опас-

---

[1]) Затруднение, вызываемое трением, внушило лорду Кельвину мысль (отчет Британской Ассоциации 1884 г.), что для поддержания гиростата может служить поплавок, и таким образом в настоящее время устроен компас, применяемый в германском флоте и в известной мере в английском.

ные напряжения в веществе, зависящие от центробежной силы. Колесо порождает теплоту трением об атмосферу, и скорость его ограничена повышением температуры. Теплота, вызываемая в секунду, пропорциональна плотности атмосферы, и потому в одном роде гиро-компасов коробка наполнена водородом, а в другом — воздухом в разреженном состоянии. Изобретатели стремятся достигнуть большого направляющего кручения, применяя большие и тяжелые колеса; они, повидимому, забывают, что было бы лучше уменьшить сопротивление движению около вертикальной оси, которое можно назвать твердым трением. При больших тяжелых колесах расход энергии велик, и трение велико. Затем применение водорода или частичной пустоты вносит возможность другого недостатка благодаря случайностям, и здесь уже слишком много этих возможностей.

Колебания должны быть заглушены. С этой целью обычно вводят кручение около вертикальной оси, пропорциональное отклонению. Это дает хорошее затухание, но к несчастью это вносит значительную погрешность, различную для разных широт, и таким образом увеличивает ошибку, вызываемую переменой скорости судна. Лучше заглушать отклоняющее колебание прямо хорошо известным простейшим способом, так как это не вызывает ошибки, зависящей от широты, и не увеличивает ошибки, зависящей от постоянного ускорения.

Погрешность, зависящая от боковой и килевой качки и однообразного ускорения судна; ошибка, зависящая от широты; важная „квадратная ошибка“, вызываемая качкой при курсе на северо-запад или северо-восток, и ошибки, зависящие от трения, заставили изобретателей ввести множество сложных методов поправки. Отсюда происходит, что коробка гиро-компаса подобна в о л ш е б н о м у л а р ч и к у. Достаточно сказать, что среди гиростатов, наиболее известных по своей сложности, есть три, которые вращаются в водороде. Однако, надо заметить, что эти ненаучные приборы, пока они еще не вышли из употребления, все же оказывают помощь мореплавателям.

М-р Броун поступил иначе. Он первый изобрел новый метод устранения твердого трения около вертикальной оси; поэтому он может обходиться без 95% направляющего кручения, которое до сих пор считалось необходимым; так что он может пользоваться небольшим колесом, вращающимся в обыкновенном воздухе.

Рама F (черт. 4) держится на кольцах, из которых показан один ряд G. Кольцо R, неподвижно укрепленное на вертикальной оси S и несущее циферблат компаса, движется относительно рамы вертикально и по азимуту. Коробка C заключает колесо, которое вращается на подшипниках посредством трех-фазного электрического статора, укрепленного в ящике. C поддерживается лезвиями ножей E на кольце R, с которым он соединен

слабыми пружинами. Колебание С относительно R заглушается ножом К, который врезается в ящик

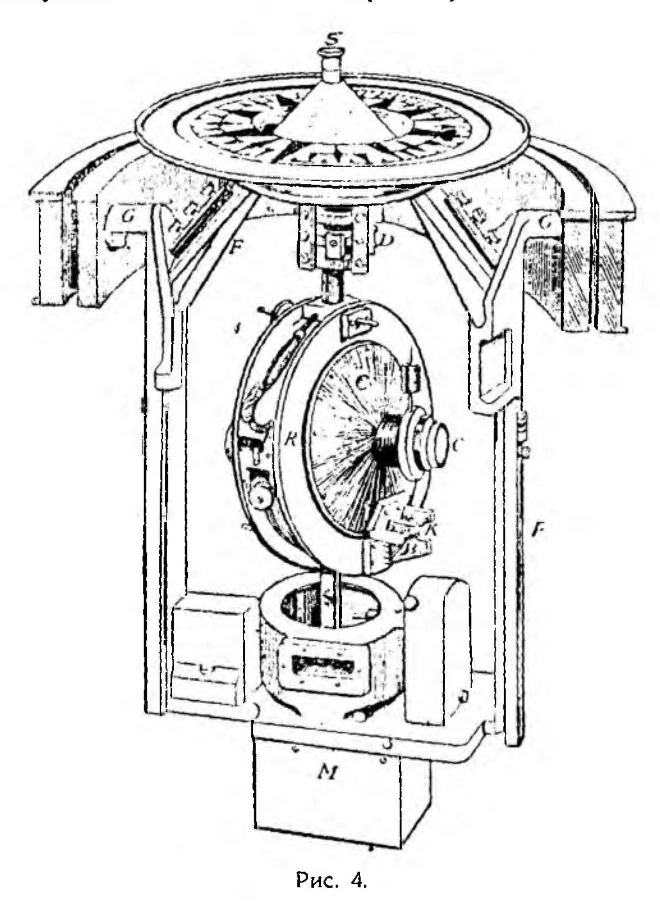


Рис. 4.

через сапожный вар. Твердое трение вертикальной оси устраняется таким образом. В М нахо-

дится трех-фазный электромотор, который накачивает масло под ось S, так что S быстро подымается и падает. В D находятся три кольцевые ртутные контакта для проведения тока. Слабые пружины, упомянутые выше, вызывают кручение, которое держит коробку C в симметрическом положении относительно кольца R. В позднейшей форме своего прибора Броун устраняет эти пружины. Он пользуется тем фактом, что коробка C содержит воздух под давлением более одной атмосферы. Клапан, управляемый через R, направляет этот воздух по трубкам так, что между двумя бутылками, содержащими масло и укрепленными на ящике C, поддерживается разница давлений. Масло может свободно течь из одной бутылки в другую по трубке, так что различие их веса вызывает кручение, уменьшающее отклонение C. Я называю это положительным кручением. Другая пара бутылок меньшего размера, с более узкой соединительной трубкой, получает избыток давления воздуха в противоположном направлении по отношению к первой паре. Отрицательное кручение сильно отстает в своем действии, и, следовательно, здесь получается весьма действительное затухание. Этот прибор подвергался в течение войны строгим испытаниям во время бурь в Северном море и, повидимому, не имеет погрешностей.

Некоторые важные вопросы относительно применения гиростатов изучались многими лицами в

течение войны без большого успеха. Но еще нет компаса магнитного или гиростатического, на который можно было бы положиться в применении к дирижаблю или аэроплану.

Однако, м-ру Броуну удалось создать искусственный уровень, т.-е. зеркало, которое держится совершенно горизонтально. Прибор давно ожидался моряками, которые редко могут иметь точный уровень. Но он еще более пригоден для авиаторов.

